



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Химико-
технологический
институт

**Д. А. МЕДВЕДЕВ
С. А. ВОЙТУКЕВИЧ**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНДИВИДУАЛЬНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ

Пособие для учителя

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА
ИНСТИТУТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ УрО РАН

Д. А. Медведев, С. А. Войтукевич

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
ИНДИВИДУАЛЬНОСТЬ
РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ

Пособие для учителя

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2015

УДК 54(076.1)

ББК 24я7

М42

Рецензент

Е. В. Н и к и т и н а, кандидат химических наук,
Институт высокотемпературной электроники
УрО РАН, г. Екатеринбург

Медведев, Д. А.

М42 Математическая индивидуальность расчетных задач по химии :
пособие для учителя / Д. А. Медведев, С. А. Войтукевич ; М-во
образования и науки Рос. Федерации ; Урал. федер. ун-т. —
Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 128 с.

ISBN 978-5-7996-1439-3

В пособии представлены шестьдесят расчетных задач по химии, которые предлагались на школьных олимпиадах и вступительных экзаменах в различных российских университетах. Для каждой задачи приведены полный алгоритм алгебраического расчета и, где это возможно, несколько способов решения.

Для учителей химии, а также для учащихся средних школ и абитуриентов.

УДК 54(076.1)

ББК 24я7

ISBN 978-5-7996-1439-3

© Уральский федеральный университет, 2015

© Медведев Д. А., Войтукевич С. А., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Расчетные задачи с неполным условием достаточно часто встречаются не только на химических олимпиадах различного уровня, но даже в заданиях единого государственного экзамена. По своей сути они аналогичны стандартным, лишь с той разницей, что в них намеренно отсутствует часть исходных данных. Этот факт вызывает определенные трудности, поскольку алгоритм получения конечного результата исключает возможность прямого решения задач на основе только имеющейся в тексте информации. В некоторых случаях отсутствующие (на первый взгляд) исходные данные могут быть выявлены при внимательном анализе условия. После этого обычно составляют реакцию, математическое уравнение, описывающее эту реакцию, и затем решают уравнение относительно неизвестной величины.

Вторая трудность решения задач с неполным условием сопряжена с активным использованием математических навыков (составление неравенств, уравнений с параметрами, систем уравнений, использование геометрии и т. д.). Как отмечают многие педагоги, шаблоны ЕГЭ и ГИА не способствуют развитию творческих навыков учащихся, что в первую очередь ценилось в советском образовании. Поэтому вышеперечисленные трудности могут испытывать не только учащиеся школ и гимназий, но абитуриенты и даже студенты высших образовательных учреждений. При этом важность математической составляющей химических задач чрезвычайно высока. Так, например, на вступительных экзаменах по химии в Московском государственном университете количество заданий с математическим уклоном за десять лет выросло вдвое.

В настоящем пособии, предназначенном для интересующихся химией и учителей, представлены 60 различных задач, которые могут быть решены с помощью линейных уравнений (например, задачи № 1–9), систем уравнений (например, задачи № 10–12),

неравенств (например, задачи № 25–27), квадратных уравнений (например, задачи № 21–24) и параметрических уравнений (например, задачи № 50–60). Для отдельных примеров указано несколько способов решения. Многогранность, «изюминка» собранных задач заключается в том, что некоторые из них имеют несколько возможных решений или ответов (например, задачи № 30, 32, 33, 49, 54, 57, 59), а часть условий представлена без каких-либо численных значений (например, задачи № 23, 30–32, 40, 43, 47).

Структура пособия простая: оно состоит из трех частей. В первой части приводятся задачи без ответов, которые предлагаются читателям для решения; во второй части даются методы решения этих задач; в третьей — представлены задачи для самостоятельной работы. В конце издания приведен список литературы, к которому авторы просят читателей обязательно обратиться.

Авторы

ЗАДАЧИ

1. Массовая доля раствора некоторой соли равна 5,5 %. Определите, какая масса соли содержится в этом растворе, если масса воды в растворе составляет 80 г.

2. Разложение соли, содержащей в своем составе калий, хлор и кислород, продолжали до тех пор, пока не закончилось выделение газа. При этом масса твердого вещества уменьшилась с 1,81 до 1,49 г. Определите, какая соль была подвергнута разложению.

3. Массовая доля серы в смеси сероводорода и метана равна 50 %. Чему равна массовая доля водорода в этой смеси?

4. Найдите массовую долю кислорода в смеси нитрата и нитрита натрия, если массовая доля азота в ней составляет 20 %.

5. При нагревании этилена до температуры 300 °С он частично подвергся пиролизу с образованием метана и ацетилена. Средняя молярная масса полученной смеси 24 г/моль. Определите массовую долю ацетилена в смеси.

6. В одном из алканов число связей С–Н в 4 раза больше связей С–С. Определите формулу алкана.

7. При сплавлении со щелочью калиевой соли предельной одноосновной карбоновой кислоты образовалось 17,4 г углеводорода *A*, а при электролизе водного раствора такого же количества этой соли образовалось 17,1 г углеводорода *B*. Определите формулы веществ *A* и *B*.

8. Через два последовательно соединенных сосуда, в первом из которых содержалось 103 мл раствора сульфида калия с плотностью 1,12 г/мл, а во втором — 111 мл раствора сульфата меди (II) с плотностью 1,20 г/мл, пропустили смесь азота с хлороводородом, имеющую плотность при н. у. 1,30 г/л. Газ прекратили пропускать, как только массы растворов сравнялись. Найдите

объем пропущенного через растворы газа ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление — $58,0\text{ кПа}$). Растворимостью сероводорода в водных растворах пренебречь.

9. Цинковую пластинку массой $13,2\text{ г}$ опустили в $300,0\text{ г}$ раствора нитрата железа (III) с массовой долей соли $11,34\text{ \%}$. После некоторого выдерживания пластинки в растворе ее вынули, при этом оказалось, что массовая доля нитрата железа (III) стала равной массовой доле образовавшейся соли цинка. Определите массу пластинки (до десятых г), после того как ее вынули из раствора.

10. После полного термического разложения 2 г смеси карбонатов кальция и стронция получили $1,23\text{ г}$ смеси оксидов этих металлов. Вычислите массу карбоната стронция в исходной смеси.

11. Смесь оксида железа (III) и оксида меди (II) массой 10 г восстановили в водороде. При этом получили остаток массой $7,5\text{ г}$. Вычислите массовую долю железа в полученном остатке.

12. В 100 г 10 \% -ного раствора нитрата серебра поместили смесь хлорида и бромида натрия массой 3 г . При этом образовалось 6 г осадка. Вычислите массовые доли веществ в полученном растворе.

13. При полном растворении в соляной кислоте смеси сульфита и фосфида щелочного металла с равными мольными долями выделилось $2,24\text{ л}$ (н. у.) газовой смеси. Установите состав исходных соединений.

14. При полном растворении в воде гидрида и фосфида щелочного металла с равными массовыми долями образовалась газовая смесь с плотностью по CO_2 $0,2$. Установите состав исходной смеси.

15. Какой объем этиламина и этана (н. у.), при массовой доле этана 40 \% , нужно пропустить через 100 г $9,8\text{ \%}$ -ного раствора фосфорной кислоты, чтобы массовые доли кислых солей, образующихся в растворе, стали одинаковыми.

16. При разложении $20,48\text{ г}$ соли, содержащей ионы железа и нитрат-ионы, образуется 8 г твердого остатка. Определите качественный и количественный состав образца.

17. Смесь двух ближайших гомологов предельных карбоновых кислот массой 37,4 г нагрели с избытком метанола в присутствии следов серной кислоты. После перегонки получили 30,3 г смеси сложных эфиров. Установите качественный и количественный состав исходной смеси, если известно, что выход одного эфира составил 50 %, второго — 70 %, а количество низшего гомолога кислот в исходной смеси в пять раз больше, чем высшего.

18. При сливании раствора, содержащего 2,346 г галогенида двухвалентного металла, с избытком раствора фосфата натрия получили 2,404 г осадка. А при сливании того же раствора с избытком раствора нитрата серебра получили 2,82 г осадка. Установите формулу неизвестной соли.

19. При прокаливании смеси нитрата натрия и нитрата трехвалентного металла (в ряду напряжений находится между Mg и Cu) образовалось 27,3 г твердого остатка и выделилось 34,72 л (н. у.) смеси газов. После пропускания газов через раствор гидроксида натрия образовалось две соли, а объем газов сократился до 7,84 л. Установите формулу неизвестного нитрата.

20. 4,48 л (н. у.) смеси этилена с диеновым углеводородом разветвленного строения обесцвечивает 148,1 мл раствора брома в тетрахлориде углерода с массовой долей брома 15 % и плотностью 1,8 г/мл. Назовите диеновый углеводород, если известно, что при сжигании такого же количества исходной смеси образуется 9 г воды.

21. 75 г сульфита металла, проявляющего в своих соединениях степень окисления +2, обработали избытком раствора соляной кислоты. При этом выделился газ, масса которого численно равна молярной массе неизвестного металла. Определите, какой сульфит был обработан раствором соляной кислоты.

22. Из 13,44 л (н. у.) метана получили сначала ацетилен, а потом бензол массой 3,744 г. Вычислите выход продуктов на каждой стадии, если выход на первой стадии на 25 % меньше, чем на второй.

23. При определенных условиях один углеводород способен превращаться в другой в соответствии с уравнением: $x\text{C}_n\text{H}_{3n-4} \rightarrow y\text{C}_{2n+2}\text{H}_{3n}$. Запишите уравнение реакции и укажите условия ее протекания.

24. Смесь двух газообразных водородных соединений различных элементов, один из которых имеет валентность (III), а другой — валентность (IV), с массовой долей водорода 55,17 % имеет плотность при н. у. 1,942 г/л. Определите формулы этих соединений, если известно, что в смеси равных объемов этих газов массовая доля водорода составляет 6,364 %.

25. Приготовили 10 г смеси оксидов кальция и натрия, причем масса оксида кальция в смеси больше массы оксида натрия, а масса натрия в этой же смеси больше массы кальция. Найти массу оксида кальция в смеси.

26. В смеси углекислого газа, азота и оксида серы (IV) массовая доля серы составляет 48 %. Вычислите область допустимых значений объемной доли азота в смеси.

27. После прокаливания 5 г смеси карбонатов магния, кальция, стронция и бария получили 2,4 г смеси оксидов. Определите возможное значение карбоната магния в смеси.

28. Из 3 г магния и 4 г неизвестного щелочноземельного металла отдельно получили сначала оксиды, а затем карбонаты. Определите неизвестный металл, если масса оксида магния оказалась меньше, чем масса оксида неизвестного металла, а масса карбоната магния, наоборот, тяжелее, чем карбоната неизвестного металла.

29. В результате обезвоживания кристаллогидрата его масса уменьшилась в два раза. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что он содержит 18,25 мас. % натрия, 12,70 мас. % серы, а количество воды в кристаллогидрате является целым числом.

30. Смесь газообразного углеводорода с кислородом (взятым в количестве, необходимом и достаточном для полного сгорания углеводорода) занимает объем, в два раза больший, чем

оксид углерода (IV), образующийся в результате реакции горения. Объемы газов измерены при одинаковых условиях. Какой углеводород мог быть сожжен?

31. При полном окислении углеводорода масса образовавшегося оксида углерода (VI) в три раза больше массы сгоревшего соединения. Установите формулу углеводорода.

32. Для сжигания какого одноатомного спирта требуется семикратное количество газообразного кислорода?

33. Смесь углеводорода с кислородом при некоторой температуре находится в газообразном состоянии. После поджигания смеси остается только вода и углекислый газ. Объем углекислого газа, измеренный при той же температуре, относится к объему исходной смеси как 3 : 5. Определите формулу неизвестного углеводорода.

34. Элементы А и Б образуют соединение, содержащее 16,18 % (по массе) элемента А. При гидролизе этого вещества выделяется газ, содержащий элемент Б, массовая доля водорода в котором равна 5 %. Определите формулу вещества, содержащего элементы А и Б, напишите реакцию его гидролиза.

35. Массовая доля водорода в неизвестном углеводороде равна 5,88 %. Этот углеводород, обладающий слабыми кислотными свойствами, способен образовывать с металлом соль, массовая доля металла в которой составляет 80,12 %. Напишите структурную формулу соли.

36. При реакции некоторого металла массой 2,3 г с галогеном образовалось 5,85 г соли. Зная, что для полного электролиза ее расплава требуется 9650 Кл электричества, определите галоген.

37. Шарик цинка опустили в 98,27 г 10 %-ного раствор соляной кислоты. После прекращения выделения пузырьков газа оказалось, что радиус оставшегося шарика в два раза меньше, чем начального, а в растворе обнаружен только хлорид цинка. Определите массу брошенного в раствор шарика.

38. Смесь натрия и лития обработали хлором. Полученную смесь растворили в воде, при этом выделилось 560 мл газа (н. у.). Вычислить массу натрия в смеси, если сумма молярных концентраций натрия и хлорид-ионов равнялась сумме молярных концентраций лития и гидроксид-ионов.

39. В раствор, содержащий бромиды меди и неизвестного металла с равными массовыми долями, поместили железные стружки, при этом выделилось одно индивидуальное вещество, а в растворе остался единственный бромид с массовой долей 10,2 %. Определите массовые доли веществ в исходном растворе.

40. При полном каталитическом гидрировании смеси пропадиена, пропилена, пентадиена-1,4 и 1-винилциклопентена поглощается объем водорода, равный половине объема диоксида углерода (измеренного при тех же условиях), выделяющегося при сжигании такого же количества этой смеси. Определите объемное содержание пропадиена в парах исходной смеси.

41. В молекуле алкана содержится a первичных, b вторичных и d четвертичных атомов углерода. Найдите число третичных атомов углерода.

42. Две пластинки одинаковой массы изготовлены из одного металла, степень окисления которого в соединениях равна 2. Пластинки опустили в растворы солей меди и серебра одинаковой молярной концентрации; через некоторое время вынули, высушили и взвесили (при этом весь выделенный металл осел на пластинках). Масса первой пластинки увеличилась на 0,8 %, второй — на 16 %. Из какого металла изготовлены пластинки?

43. Смесь цинка и безводного нитрата цинка прокалили на воздухе, ее масса при этом не изменилась. Определите массовые доли компонентов смеси.

44. При окислении предельного одноатомного спирта получили 77 г смеси, состоящей из исходного спирта, альдегида и монокарбоновой кислоты в молярном соотношении 1 : 3 : 1. При добавлении к этой смеси гидрокарбоната натрия выделилось

5,6 л (н. у.) газа. Определите количественный состав смеси (в массовых процентах) и структуру полученных веществ.

45. Сульфид металла MeS массой 16,8 г (металл проявляет в своих соединениях степень окисления +2 и +3) поместили в замкнутый реактор, содержащий 0,45 моль кислорода, и подожгли. Определите формулу полученных оксидов при сгорании, если после окончания процесса горения давление газов при неизменной температуре уменьшилось в 1,5 раза по сравнению с начальным.

46. При растворении серебра в 53 %-ной азотной кислоте массовая доля кислоты уменьшилась до 46 %. В полученном растворе кислоты растворили медь, в результате массовая доля кислоты снизилась до 39 %. Определите массовые доли солей в полученном растворе.

47. К раствору смеси бромида и иодида калия добавили бромную воду. Масса остатка, полученного при упаривании и прокаливании, уменьшилась. Полученный остаток вновь растворили в воде и через раствор пропустили хлор. Масса, полученная после упаривания и прокаливании, уменьшилась на столько же, как в первом случае. Определите массовые доли солей в исходной смеси.

48. При сгорании 10 г смеси предельного одноатомного спирта и его симметричного простого эфира образовалось 12 г воды. Определите состав и массы соединений в исходной смеси.

49. При полном сгорании 2,72 г смеси двух алканов, отличающихся по составу на две гомологические разницы, образовалось 8,36 г углекислого газа. Определите объемную долю низшего гомолога в смеси.

50. При взаимодействии с водой 1,4 г смеси щелочного металла и его оксида образовалось 1,79 г щелочи. Определите массовую долю металла в исходной смеси.

51. При прокаливании 1 моль сульфата двухвалентного металла получается x г оксида состава MeO . При прокаливании x г того же сульфата получается y г этого оксида. Если прокалить y г того же сульфата, то получим 20 г оксида MeO . Сульфат какого металла взят для изучения?

52. При электролизе 10 моль сплава бромида двухвалентного металла масса катода увеличивается на x г. При электролизе x г того же бромида масса катода увеличивается на y г. При электролизе y г того же бромида масса катода увеличивается на 0,4 моль. Какая соль была подвергнута электролизу?

53. 10 г металла превратили в нитрат, в котором степень окисления металла может составлять +1, +2 или +3. Установите формулу нитрата, если ее масса численно больше молярной массы неизвестного металла на 51,89 г.

54. Раствор галогеноводорода полностью прореагировал с оксидом щелочного металла. Определите массовую долю кислоты в начальном растворе, если она оказалась равной массовой доли галогенида металла в конечном растворе, а также возможную формулу соли.

55. Имеется два раствора одной и той же соли, в одном из которых массовая доля воды составляет 88 %, а в другом — 70 %. Вычислите массовую долю воды в растворе, полученном при сливании исходных, если масса первого раствора больше второго, а масса растворенного вещества во втором растворе больше, чем в первом.

56. Из раствора выпарили 56 г воды, и при этом выпало 4 г безводной соли. Не меняя условий, из этого же раствора выпарили еще 37 г воды, в результате чего выпало еще 3 г безводной соли. Определите массовую долю соли в исходном растворе.

57. Углеводород ряда алканов объемом 224 мл (н. у.) сожгли, а продукты сгорания растворили в 1 л известковой воды с массовой долей 0,148 %. При этом было получено 1 г осадка. Определите формулу сожженного алкана.

58. В раствор сульфата железа (III), содержащего 61,6 г соли, опустили металлическую пластинку. Через некоторое время пластинку вынули из раствора, промыли, высушили и взвесили (оказалось, что ее масса изменилась на 4 г). Определите неизвестный металл пластинки, если после ее извлечения из раствора отношение массовых долей сульфата железа (III) и сульфата неизвестного

металла оказалось равно отношению молярных масс сульфата металла и сульфата железа (III).

59. Смесь оксида кобальта (III) и оксида трехвалентного *3d*-элемента массой 9,9 г восстановили в атмосфере водорода, при этом образовалось 7,02 г твердого остатка. Определите массовую долю неизвестного металла в остатке.

60. Безводный нитрат некоторого металла использован для приготовления 100 г раствора с массовой долей соли, равной 8 %. Через полученный раствор пропускали постоянный электрический ток до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась до 57,43 г. Определите, нитрат какого металла использовался для получения раствора, если в результате электролиза выделилось 69,76 л (н. у.) газов и известно, что стандартный электродный потенциал металла положителен. Считать, что продукты электролиза не взаимодействуют между собой.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задачи на составление линейных уравнений

При решении большей части задач по химии необходимо обращаться к введению неизвестного параметра x , n и т. д. В качестве такой неизвестной величины может быть взята масса, количество вещества или степень окисления элемента в соединении, которые требуется найти и определить в конкретной задаче. Такой метод сильно облегчает поиск решения, а в некоторых случаях он просто необходим. Рассмотрим некоторые типы задач, при решении которых мы будем использовать метод введения неизвестной величины.

1. Для определения массы соли в растворе положим, что масса соли равна x г ($m(\text{соли}) = x$ г). Запишем формулу, связывающую массовую долю соли в растворе с ее массой:

$$\omega(\text{соли}) = \frac{m(\text{соли})}{m(\text{раствора})} = \frac{m(\text{соли})}{m(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O})}.$$

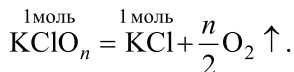
Подставим все известные данные и найдем массу соли (в г):

$$\frac{m(\text{соли})}{m(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{x}{x + 80} = 0,055 \Rightarrow x = 4,656.$$

Ответ: $m(\text{соли}) = 4,656$ г.

2. Существует четыре соли, химический состав которых удовлетворяет условию задачи: KClO , KClO_2 , KClO_3 и KClO_4 . Естественно, отдельно составлять реакции термического разложения этих солей и сравнивать полученные массы хлорида калия с величиной, приведенной в тексте задачи, некорректно. Пусть количество атомов кислорода в этой соли равно n , тогда химическую формулу

соединения можно представить как KClO_n . Напишем уравнение термического разложения этой соли:



По уравнению реакции видно, что количество вещества неизвестной соли равно количеству вещества хлорида калия, тогда

$$\nu(\text{KClO}_n) = \nu(\text{KCl}).$$

Заменим количество каждого вещества массой, известной из текста задачи, и молярной массой, которую можно легко рассчитать:

$$\frac{m(\text{KClO}_n)}{M(\text{KClO}_n)} = \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl})}.$$

Подставим все известные величины:

$$\frac{1,81}{39 + 35,5 + 16n} = \frac{1,49}{39 + 35,5} \Rightarrow \frac{1,81}{74,5 + 16n} = 0,02 \Rightarrow n = 1.$$

Таким образом, можно рассчитать, сколько атомов кислорода содержалось в неизвестной соли. Из приведенных выше веществ нашему условию удовлетворяет первое. Поэтому неизвестная соль — это KClO .

Ответ: гипохлорит калия KClO .

3. Пусть количество H_2S — x моль, а CH_4 — y моль. Тогда масса сероводорода равна $34x$ г, а метана — $16y$ г. По условию задачи, массовая доля серы равна 50 %, т. е.

$$\begin{aligned} \omega(\text{S}) &= \frac{m(\text{S})}{m(\text{смеси})} = \frac{m(\text{S})}{m(\text{H}_2\text{S}) + m(\text{CH}_4)} = \\ &= \frac{1 \cdot M(\text{S})\nu(\text{H}_2\text{S})}{m(\text{H}_2\text{S}) + m(\text{CH}_4)} = \frac{32x}{34x + 16y} = 0,5, \end{aligned}$$

$$32x = 0,5(34x + 16y) \Rightarrow 32x = 17x + 8y \Rightarrow x = \frac{8}{15}y. \quad (*)$$

В сероводороде содержится два атома водорода, в метане — четыре, тогда массовая доля водорода равна:

$$\omega(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{m(\text{H}_2\text{S}) + m(\text{CH}_4)} =$$

$$= \frac{2 \cdot M(\text{H})\nu(\text{H}_2\text{S}) + 4 \cdot M(\text{H})\nu(\text{CH}_4)}{m(\text{H}_2\text{S}) + m(\text{CH}_4)} = \frac{2x + 4y}{34x + 16y}.$$

Подставляя зависимость (*) в последнее уравнение и сокращая y , получаем

$$\omega(\text{H}) = \frac{2 \cdot \frac{8}{15}y + 4y}{34 \cdot \frac{8}{15}y + 16y} = 0,1484 \text{ (14,84 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{H}) = 14,84 \%$.

4. Пусть количество вещества нитрита натрия — x моль, а нитрата натрия — y . Тогда их массы равны $69x$ и $85y$ г соответственно. Массовая доля азота в смеси может быть выражена следующим образом:

$$\omega(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{m(\text{смеси})} = \frac{14x + 14y}{69x + 85y} = 0,20.$$

Откуда $x = 15y$. Аналогично выразим массовую долю кислорода и затем подставим вместо x произведение $15y$:

$$\omega(\text{O}) = \frac{2 \cdot 16 \cdot x + 3 \cdot 16 \cdot y}{69x + 85y} = \frac{32x + 48y}{69x + 85y} = \frac{32 \cdot 15y + 48y}{69 \cdot 15y + 85y} = 0,4714 \text{ (47,14 \%)}.$$

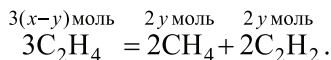
Ответ: $\omega(\text{O}) = 47,14 \%$.

5. Напишем уравнение реакции пиролиза этена:



В данных условиях только часть этилена подверглась разложению. Пусть начальное количество вещества этилена равно x моль,

а y моль израсходовалось на образование метана и ацетилен, тогда осталось $(x - y)$ моль C_2H_4 и образовалось по y моль CH_4 и C_2H_2 . В соответствии с коэффициентами перед углеводородами имеем



Средняя молярная масса газовой смеси равна:

$$M = \frac{\nu(C_2H_4)M(C_2H_4) + \nu(C_2H_2)M(C_2H_2) + \nu(CH_4)M(CH_4)}{\nu(C_2H_4) + \nu(C_2H_2) + \nu(CH_4)},$$

подставим все известные значения:

$$\frac{3(x-y) \cdot 28 + 2y \cdot 26 + 2y \cdot 16}{3(x-y) + 2y + 2y} = 24 \Rightarrow x = 2y.$$

Определим теперь массовую долю ацетилен в смеси:

$$\omega(C_2H_2) = \frac{\nu(C_2H_2)M(C_2H_2)}{\nu(C_2H_4)M(C_2H_4) + \nu(C_2H_2)M(C_2H_2) + \nu(CH_4)M(CH_4)},$$

$$\begin{aligned} \omega(C_2H_2) &= \frac{2y \cdot 26}{3(x-y) \cdot 28 + 2y \cdot 26 + 2y \cdot 16} = \\ &= \frac{2y \cdot 26}{3(2y-y) \cdot 28 + 2y \cdot 26 + 2y \cdot 16} = 0,31. \end{aligned}$$

Ответ: $\omega(C_2H_4) = 31\%$.

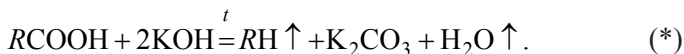
6. Количество C–H связей в алкане C_nH_{2n+2} равно количеству атомов водорода $(2n + 2)$, а количество C–C связей на единицу меньше, чем количество атомов углерода, т. е. $(n - 1)$. Определим n из условия, что

$$\frac{\text{число C–H}}{\text{число C–C}} = \frac{2n+2}{n-1} = 4 \Rightarrow n = 3.$$

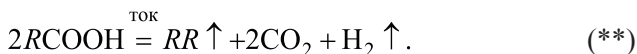
Неизвестный алкан — это пропан.

Ответ: пропан.

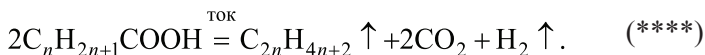
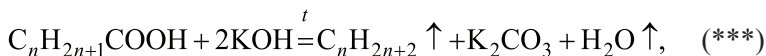
7. При сплавлении карбоновой кислоты со щелочью образуется углеводород. Схематически это можно показать как



А при электролизе происходит удвоение числа атомов углерода, содержащегося в радикале R (реакция Кольбе):



Обозначим символом n количество атомов углерода в радикале R , тогда $R = C_nH_{2n+1}$. По реакции (*) RH соответствует химической формуле C_nH_{2n+2} , а по реакции (**) RR — $C_nH_{2n+1}-C_nH_{2n+1}$ или $C_{2n}H_{4n+2}$. Запишем уравнения реакции, заменяя радикал R на формулу алкила:



По уравнению (***) выделилось 17,4 г углевода, рассчитаем его количество:

$$v(C_nH_{2n+2}) = \frac{m(C_nH_{2n+2})}{M(C_nH_{2n+2})} = \frac{17,4}{12n + 2n + 2} = \frac{17,4}{14n + 2}.$$

Количество карбоновой кислоты равно:

$$v(C_nH_{2n+1}COON) = v(C_nH_{2n+2}) = \frac{17,4}{14n + 2}.$$

По уравнению (****) из двух молей карбоновой кислоты образуется 1 моль углеводорода, тогда

$$v(C_{2n}H_{4n+2}) = \frac{v(C_nH_{2n+1}COON)}{2} = \frac{8,7}{14n + 2}.$$

С другой стороны, можно рассчитать количество образовавшегося углеводорода при электролизе из условия задачи:

$$v'(C_{2n}H_{4n+2}) = \frac{m(C_{2n}H_{4n+2})}{M(C_{2n}H_{4n+2})} = \frac{17,1}{24n + 4n + 2} = \frac{17,1}{28n + 2},$$

приравняем v и v' :

$$\frac{8,7}{14n + 2} = \frac{17,1}{28n + 2} \Rightarrow 4,2n = 16,8 \Rightarrow n = 4.$$

Таким образом, при сплавлении выделился бутан, а при электролизе — октан.

Ответ: бутан и октан.

8. Данная задача является комбинированной.

Определим сначала массу раствора сульфида калия и массу растворенной соли:

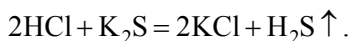
$$m_1 = V_1(\text{раствора}) \cdot \rho_1(\text{раствора}) = 103 \cdot 1,12 = 115,36 \text{ г.}$$

Также определим массу второго раствора и массу растворенного сульфата меди:

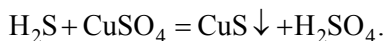
$$m_2 = V_2(\text{раствора}) \cdot \rho_2(\text{раствора}) = 111 \cdot 1,20 = 133,2 \text{ г.}$$

Запишем уравнения реакций, протекающих при пропускании смеси азота и хлороводорода.

В первом сосуде происходит взаимодействие в растворе между хлороводородом и сульфидом калия:



Во второй сосуд поступает непрореагировавший азот и образованный в предыдущем сосуде сероводород. Сероводород взаимодействует с сульфатом меди; при этом происходит образование осадка сульфида меди:



Заметим, что количество образованного в первом сосуде газа в два раза меньше, чем хлороводорода, а во втором случае наблюдается равенство количества сероводорода и сульфида меди. Запишем это условие:

$$\frac{v(\text{HCl})}{2} = v(\text{H}_2\text{S}) = v(\text{CuS}).$$

Пусть количество вещества хлороводорода равно x моль, тогда количество образованного сероводорода равно $0,5x$ моль, а образованного осадка — $0,5x$ моль.

Запишем условие выравнивания масс растворов между первым и вторым сосудом:

$$m_1 + m(\text{HCl}) - m(\text{H}_2\text{S}) = m_2 + m(\text{H}_2\text{S}) - m(\text{CuS}).$$

Выражая массу хлороводорода, сероводорода и сульфида меди через молярную массу и количество вещества, имеем

$$\begin{aligned} m_1 + v(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) - v(\text{H}_2\text{S}) \cdot M(\text{H}_2\text{S}) = \\ = m_2 + v(\text{H}_2\text{S}) \cdot M(\text{H}_2\text{S}) - v(\text{CuS}) \cdot M(\text{CuS}). \end{aligned}$$

Подставим все известные значения:

$$\begin{aligned} 115,36 + x \cdot 36,5 - 0,5x \cdot 34 = 133,2 + 0,5x \cdot 34 - 0,5x \cdot 95,5, \\ x = 0,355 \text{ моль.} \end{aligned}$$

По плотности определим среднюю молярную массу (г/моль) смеси газов:

$$M_{\text{cp}} = \rho \cdot V_{\text{м}} = 1,3 \cdot 22,4 \approx 29,12.$$

После чего рассчитаем количество вещества азота по формуле

$$M_{\text{cp}} = \frac{M(\text{HCl}) \cdot v(\text{HCl}) + M(\text{N}_2) \cdot v(\text{N}_2)}{v(\text{HCl}) + v(\text{N}_2)}.$$

Подставим известные значения, полагая, что количество азота равно y (моль):

$$\frac{36,5 \cdot 0,355 + 28y}{0,355 + y} = 29,12 \Rightarrow y = 2,339.$$

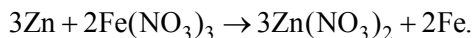
Общий объем газов при условиях, отличающихся от нормальных, определяется уравнением Менделеева — Клайперона:

$$pV = \nu RT \Rightarrow V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{(x + y)RT}{p} = \\ = \frac{(0,355 + 2,339) \cdot 8,314 \cdot (273,15 + 25)}{58000} = 0,115 \text{ м}^3.$$

Объем пропущенной смеси, таким образом, равен $0,115 \text{ м}^3$ или 115 л .

Ответ: $V = 115 \text{ л}$.

9. Запишем уравнение происходящих реакций, описанных в задаче. Цинк, являясь активнее железа, способен вытеснять его из солей. Уравнение этой реакции записывается следующим образом:



Установим, какая масса нитрата цинка образовалась в растворе и сколько осталось в растворе нитрата железа (III).

Пусть масса нитрата цинка равна x г. Начальная масса нитрата железа (III) в растворе равна:

$$m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 300 \cdot 0,1134 = 34,02 \approx 34 \text{ г}.$$

За счет восстановления железа массовая доля нитрата железа уменьшается. В растворе остается $(34 - x)$ г $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Найдем x . Из уравнения видно, что

$$\frac{\nu(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)}{2} = \frac{\nu(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2)}{3},$$

заменим количество веществ соответствующими массой и молярной массой:

$$\frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)}{2M(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)} = \frac{m(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2)}{3M(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2)},$$

$$\frac{34-x}{2 \cdot 242} = \frac{x}{3 \cdot 189} \Rightarrow x = \frac{34}{\frac{2 \cdot 242}{3 \cdot 189} + 1} \approx 18,34 \text{ г.}$$

Такая масса нитрата цинка образовалась. Теперь можно найти количество цинка, израсходованного по реакции:

$$\nu(\text{Zn}) = \nu(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2)}{M(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2)} = \frac{18,34}{189} = 0,097 \text{ моль.}$$

Найдем количество железа, восстановленного и осажденного на пластинке:

$$\nu(\text{Fe}) = \frac{2}{3} \nu(\text{Zn}) = 0,097 \cdot \frac{2}{3} = 0,0647 \text{ моль.}$$

Определим массы цинка и железа:

$$m(\text{Zn}) = \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) = 0,097 \cdot 65 = 6,305 \text{ г,}$$

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,0647 \cdot 56 = 3,623 \text{ г.}$$

Найдем массу конечной пластинки:

$$\begin{aligned} m(\text{пластинки}) &= m(\text{пластинки})_{\text{до}} - m(\text{Zn}) + m(\text{Fe}) = \\ &= 13,2 - 6,305 + 3,623 = 10,518 \approx 10,5 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{пластинки}) = 10,5 \text{ г.}$

Задачи на составление системы двух уравнений

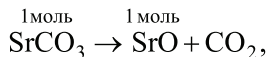
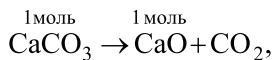
Существует достаточно большое количество задач, при решении которых необходимо вводить не одну, а несколько неизвестных переменных. Чтобы найти требуемое решение, нужно составить несколько уравнений, число которых соответствует числу принятых неизвестных. Найти такую задачу среди других достаточно легко: обычно в ее тексте приведены данные, касающиеся не одного вещества, а смеси. Например, если в тексте указана масса начальной и конечной смеси или общий объем газов, то, скорее всего, такая задача может быть решена с помощью составления системы уравнений. Система может содержать не только два уравнения, но и больше. С другой стороны, такие задачи можно решить, не прибегая к составлению системы уравнений. Следующий пример иллюстрирует вышесказанное.

10. Задачу можно решить несколькими способами. Рассмотрим два из них, полностью проведя вычисления.

Первый способ основан на том, что при решении воспользуемся только одной неизвестной, например, массой одного из исходных веществ: $x = m(\text{SrCO}_3)$. Так как смесь состоит только из карбоната кальция и стронция, масса карбоната кальция будет равна $(2 - x)$ г. Рассчитаем количество каждого карбоната:

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{2 - x}{100}, \quad \nu(\text{SrCO}_3) = \frac{m(\text{SrCO}_3)}{M(\text{SrCO}_3)} = \frac{x}{148}.$$

По уравнениям реакций



из 1 моля каждого карбоната образуется 1 моль соответствующего оксида:

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaO}), \quad \nu(\text{SrCO}_3) = \nu(\text{SrO}).$$

Вычисляем массу оксидов кальция и стронция:

$$m(\text{CaO}) = \nu(\text{CaO}) \cdot M(\text{CaO}) = \frac{2-x}{100} \cdot 56 \text{ г},$$

$$m(\text{SrO}) = \nu(\text{SrO}) \cdot M(\text{SrO}) = \frac{x}{148} \cdot 104 \text{ г}.$$

По условию задачи сумма масс оксидов стронция и кальция равна 1,23 г:

$$m(\text{CaO}) + m(\text{SrO}) = 1,23,$$

$$\nu(\text{CaO}) \cdot M(\text{CaO}) + \nu(\text{SrO}) \cdot M(\text{SrO}) = 1,23,$$

$$\frac{x}{148} \cdot 104 + \frac{2-x}{100} \cdot 56 = 1,23.$$

Решим уравнение относительно x :

$$0,703x + 0,56(2-x) = 1,23,$$

$$0,703x + 1,12 - 0,56x = 1,23,$$

$$0,143x = 0,11 \Rightarrow x = 0,7692 \approx 0,77 \text{ г}.$$

Таким образом, масса карбоната стронция равна 0,77 г.

Второй способ является более универсальным. Мы рекомендуем использовать именно его для решения последующих задач. Он состоит в том, что в качестве неизвестных используется не масса, а количество каждого вещества: пусть $\nu(\text{CaCO}_3) = x$ моль, а $\nu(\text{SrCO}_3) = y$ моль.

Составим систему, первое уравнение которой будет соответствовать условию до термического разложения, а второе — после термического разложения:

$$\begin{cases} m(\text{CaCO}_3) + m(\text{SrCO}_3) = 2, \\ m(\text{CaO}) + m(\text{SrO}) = 1,23. \end{cases}$$

Заменим массу каждого исходного вещества и продукта на произведение количества вещества и молярную массу. Так как количество вещества карбоната стронция и количество оксида стронция, а также карбоната кальция и оксида кальция равны, то система приобретает вид:

$$\begin{cases} M(\text{CaCO}_3) \cdot x + M(\text{SrCO}_3) \cdot y = 2, \\ M(\text{CaO}) \cdot x + M(\text{SrO}) \cdot y = 1,23. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 100 \cdot x + 148 \cdot y = 2, \\ 56 \cdot x + 104 \cdot y = 1,23. \end{cases}$$

Выразим из второго уравнение x :

$$x = \frac{1,23 - 104y}{56},$$

подставим в первое:

$$100 \frac{1,23 - 104y}{56} + 148y = 2,$$

избавимся от дробей умножением правой и левой части на 56 и откроем скобки:

$$123 - 10400y + 8288y = 112,$$

$$y = \frac{(123 - 112)}{10400 - 8288} = \frac{11}{2112}.$$

Масса карбоната стронция равна:

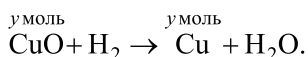
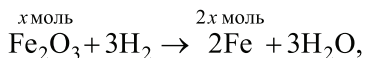
$$m(\text{SrCO}_3) = \nu(\text{SrCO}_3) \cdot M(\text{SrCO}_3) = y \cdot 148 = \frac{11}{2112} \cdot 148 \approx 0,77 \text{ г.}$$

Как видно, результаты, полученные при решении первым и вторым способом, равны. Тем не менее второй способ является более универсальным (это будет подтверждено при решении задачи № 50).

Ответ: $m(\text{SrCO}_3) = 0,77 \text{ г.}$

Предыдущая задача была сравнительно простой, так как при разложении каждого карбоната образовывалось эквимольное количество оксида. Следующий пример покажет, что очень важно учитывать стехиометрические коэффициенты в уравнениях химических реакций.

11. Пусть количество вещества оксида железа (III) равно x моль, а оксида меди — y моль, тогда



Согласно стехиометрическим коэффициентам реакций, из x моль оксида железа (III) образуется $2x$ моль железа, а из y моль оксида меди (II) образуется y моль меди.

Система уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} m(\text{Fe}_2\text{O}_3) + m(\text{CuO}) = 10, \\ m(\text{Fe}) + m(\text{Cu}) = 7,5. \end{cases}$$

Проводя замену $m = M \cdot \nu$, имеем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} M(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot x + M(\text{CuO}) \cdot y = 10, \\ M(\text{Fe}) \cdot 2 \cdot x + M(\text{Cu}) \cdot 1 \cdot y = 7,5. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 160 \cdot x + 79,5 \cdot y = 10, \\ 56 \cdot 2 \cdot x + 63,5 \cdot y = 7,5. \end{cases}$$

Решая систему, получаем $x = 0,0309$ моль, $y = 0,0637$ моль.

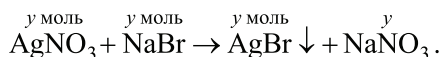
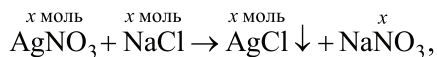
Тогда массовая доля железа в остатке равна:

$$\begin{aligned} \varphi(\text{Fe}) &= \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{Fe}) + m(\text{Cu})} = \frac{M(\text{Fe}) \cdot \nu(\text{Fe})}{m(\text{остатка})} = \frac{56 \cdot 2 \cdot x}{7,5} = \\ &= \frac{56 \cdot 2 \cdot 0,0309}{7,5} = 0,4607 \text{ (46,07 \%)} \end{aligned}$$

Ответ: $\omega(\text{Fe}) = 46,07 \%$.

Следующая задача лишь по объему рассуждений отличается от предыдущих, так как она является комплексной (состоящей из нескольких отдельных задач). На первом этапе запишем уравнения химических реакций и составим систему, соответствующую условию задачи. После вычисления масс требуемых компонентов проведем расчет массовых долей солей в растворе.

12. Пусть количество вещества хлорида натрия — x , бромида натрия — y .



Из уравнений реакций видно, что при образовании 1 моль галогенида серебра требуется 1 моль галогенида натрия и 1 моль нитрата серебра.

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} m(\text{NaCl}) + m(\text{NaBr}) = 3, \\ m(\text{AgCl}) + m(\text{AgBr}) = 6. \end{cases}$$

Используя формулу $m = \nu M$, решим следующую систему:

$$\begin{cases} M(\text{NaCl}) \cdot x + M(\text{NaBr}) \cdot y = 3, \\ M(\text{AgCl}) \cdot x + M(\text{AgBr}) \cdot y = 6. \end{cases}$$

Подставляя значения молярных масс соответствующих веществ, получим

$$\begin{cases} 58,5 \cdot x + 103 \cdot y = 3, \\ 142,5 \cdot x + 187 \cdot y = 6. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 0,0153, \\ y = 0,0205. \end{cases}$$

Рассчитаем количество нитрата серебра, вступившего в реакцию:

$$m_p(\text{AgNO}_3) = M(\text{AgNO}_3) \cdot (x + y) = 169 \cdot (0,0153 + 0,0205) \approx 6,05 \text{ г.}$$

Рассчитаем массу нитрата серебра, оставшегося после реакции:

$$\begin{aligned} m(\text{AgNO}_3) &= m(\text{раствора})\omega(\text{AgNO}_3) - m_p(\text{AgNO}_3) = \\ &= 100 \cdot 0,1 - 6,05 = 3,95 \text{ г.} \end{aligned}$$

Вычислим массу нитрата натрия, образовавшегося в ходе реакций:

$$m(\text{NaNO}_3) = M(\text{NaNO}_3) \cdot (x + y) = 85 \cdot (0,0153 + 0,0205) = 3,043 \text{ г.}$$

Масса конечного раствора равна массе начального раствора с массой смеси галогенидов натрия, но без массы осадка:

$$\begin{aligned} m &= m(\text{раствора}) + m(\text{NaCl}) + m(\text{NaBr}) - m(\text{AgCl}) - m(\text{AgBr}) = \\ &= 100 + 3 - 6 = 97 \text{ г.} \end{aligned}$$

В конечном растворе растворены часть нитрата серебра, которая не вступила в реакцию, и нитрат натрия, образовавшийся в ходе нее. Массовые доли находим следующим образом:

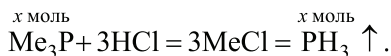
$$\omega(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{m} = \frac{3,95}{97} = 0,0407 (4,07\%),$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = \frac{m(\text{NaNO}_3)}{m} = \frac{3,043}{97} = 0,0314 (3,14\%).$$

Ответ: $\omega(\text{AgNO}_3) = 4,07 \%$, $\omega(\text{NaNO}_3) = 3,14 \%$.

Следующие три задачи качественно отличаются от рассмотренных выше. Если в приведенных до этого примерах составление систем уравнений было видно из условия, то в следующих задачах это условие менее очевидно. Однако применение данного метода также целесообразно, если речь идет не только о массе или объеме смеси, но и о других функциональных зависимостях между веществами, например, равенстве массовых, мольных или объемных долей.

13. Так как по условию задачи не известно, что за металл входил в состав соединений, то примем, что молярная масса неизвестного металла Me будет равна M (по молярной массе далее напрямую определим элемент). Пусть количество вещества фосфида и сульфита щелочного металла равно x моль (по условию они имеют равные молярные доли), тогда уравнения реакций выглядят следующим образом:



По условию задачи сумма масс сульфита и фосфида щелочного металла составляет 7,3 г, т. е.

$$m(Me_2SO_3) + m(Me_3P) = 7,3,$$

$$M(Me_2SO_3)v(Me_2SO_3) + M(Me_3P)v(Me_3P) = 7,3,$$

$$x(2M + 80) + x(3M + 31) = 7,3. \quad (*)$$

С другой стороны, выделилось 2,24 л газов, т. е.

$$\begin{aligned} \sum v &= x + x = \frac{V(SO_2) + V(PH_3)}{V_M} = \\ &= \frac{V(\text{общ})}{V_M} = \frac{2,24}{22,4} = 0,1 \text{ моль} \Rightarrow x = 0,05 \text{ моль}. \end{aligned}$$

Подставляя x в уравнение (*), получим, что $M = 7$, т. е. этот металл — литий, а смесь состояла из Li_2SO_3 и Li_3P .

Ответ: Li_2SO_3 и Li_3P .

14. Решение этой задачи похоже на предыдущее. Также неизвестный металл обозначим как Me , а его молярную массу — M (г/моль), составим систему уравнений, отвечающую начальному и конечному условию. Первое уравнение системы — равенство масс гидроксида и фосфида, второе — выражение, связывающее

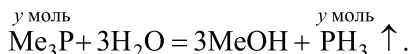
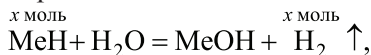
среднюю молярную массу выделившихся продуктов. Обозначив через x количество вещества гидрида, а через y — количество вещества фосфида, получаем:

$$m(\text{MeH}) = m(\text{Me}_3\text{P}),$$

$$M(\text{MeH})\nu(\text{MeH}) = M(\text{Me}_3\text{P})\nu(\text{Me}_3\text{P}),$$

$$(M + 1)x = (3M + 31)y. \quad (*)$$

Напишем уравнения реакций:



Среднюю молярную массу газов находят следующим образом:

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{H}_2} \nu_{\text{H}_2} + M_{\text{PH}_3} \nu_{\text{PH}_3}}{\nu_{\text{H}_2} + \nu_{\text{PH}_3}} = \frac{2x + 34y}{x + y}.$$

С другой стороны, средняя молярная масса равна:

$$M_{\text{ср}} = M_{\text{CO}_2} d_{\text{CO}_2} = 44 \cdot 0,2 = 8,8 \text{ г/моль}.$$

Тогда получим, что

$$\frac{2x + 34y}{x + y} = 8,8. \quad (**)$$

Если решать совместно уравнения (*) и (**), то прийти к нужному результату довольно легко, хотя система имеет два уравнения и три неизвестные. Рассмотрим это решение.

Из второго уравнения системы получаем

$$2x + 34y = 8,8x + 8,8y \Rightarrow 6,8x = 25,2y \Rightarrow x = \frac{25,2}{6,8}y.$$

Подставим полученное выражение в первое уравнение:

$$(M + 1) \frac{25,2}{6,8} y = (3M + 31)y.$$

Теперь сократим y (y не равен нулю по условию задачи) и получим уравнение с одним неизвестным:

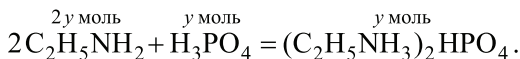
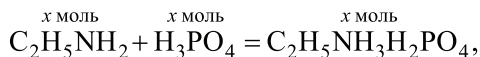
$$(M + 1) \frac{25,2}{6,8} = (3M + 31),$$

$$3,7059M + 3,7059 = 3M + 31 \Rightarrow M \approx 39.$$

Щелочной элемент, обладающий такой молярной массой, — калий. То есть смесь состояла из гидрида калия и фосфида калия.

Ответ: КН и K_3P .

15. Смесь газов пропускают через раствор фосфорной кислоты, при этом реагирует только этиламин; а этан, являющийся инертным, не вступает во взаимодействие. Напишем происходящие реакции, полагая, что x моль этиламина пошло на образование дигидрофосфорной соли, а y моль — на образование гидрофосфорной соли:



Составим систему уравнений, соответствующую условиям задачи. Первое уравнение — количество вещества фосфорной кислоты, которое требуется для реакций, второе — равенство массовых долей кислых солей (или равенство масс, что эквивалентно):

$$\begin{cases} v(H_3PO_4) = \frac{m(\text{раствора})\omega(H_3PO_4)}{M(H_3PO_4)}, \\ m(C_2H_5NH_3H_2PO_4) = m((C_2H_5NH_3)_2HPO_4). \end{cases}$$

Из уравнений реакций видно, что количество вещества фосфорной кислоты равно $(x + y)$. Подставим известные величины в систему, не забыв заменить массу аминов на молярную массу и количество вещества:

$$\begin{cases} x + y = \frac{100 \cdot 0,098}{98} = 0,1. \\ 143x = 188y. \end{cases}$$

Из второго уравнения имеем

$$x = \frac{188}{143} y.$$

Подставим x в первое уравнение:

$$\frac{188}{143} y + y = 0,1 \Rightarrow y = \frac{0,1}{\frac{188}{143} + 1} = 0,0432 \text{ моль.}$$

Тогда

$$x = \frac{188}{143} y = \frac{188}{143} 0,0432 = 0,0568 \text{ моль.}$$

Найдем теперь объем газа, пропущенного через раствор:

$$V = 22,4[v(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) + v(\text{C}_2\text{H}_6)].$$

Количество этиламина равно (по уравнениям реакций):

$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) = x + 2y = 0,0568 + 2 \cdot 0,0432 = 0,1432 \text{ моль.}$$

Количество C_2H_6 найдем из условия концентрации этана в газовой смеси:

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6)}{m(\text{C}_2\text{H}_6) + m(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2)},$$

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{M(\text{C}_2\text{H}_6)v(\text{C}_2\text{H}_6)}{M(\text{C}_2\text{H}_6)v(\text{C}_2\text{H}_6) + M(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2)v(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2)}.$$

Или, подставляя все известные величины в последнее уравнение, получим

$$0,4 = \frac{30v(\text{C}_2\text{H}_6)}{30v(\text{C}_2\text{H}_6) + 45v(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2)} \Rightarrow v(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,1432 \text{ моль.}$$

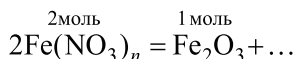
Тогда объем смеси равен:

$$V = 22,4(0,1432 + 0,1432) = 6,415 \text{ л.}$$

Ответ: 6,415 л.

16. Очевидно, что разложению подвергся либо нитрат железа (II), либо нитрат железа (III). Мы не советуем отдельно брать то или иное соединение и рассчитывать требуемые параметры.

Пусть степень окисления железа в нитрате равна n , тогда запишем химическую формулу соли: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_n$. Независимо от того, какая степень окисления железа в нитрате, при разложении образуется только оксид железа (III). Напишем схематически реакцию разложения:



Из уравнения видно, что при разложении 2 моль нитрата образуется 1 моль оксида железа, значит:

$$\nu(\text{Fe}(\text{NO}_3)_n) = 2\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3),$$

$$\frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_n)}{M(\text{Fe}(\text{NO}_3)_n)} = 2 \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)}.$$

Подставим известные значения и решим полученное уравнение относительно n :

$$\frac{20,48}{56 + 62n} = \frac{2 \cdot 8}{160} \Rightarrow n = 2,4.$$

Нами получено на первый взгляд несуществующее значение степени окисления железа. Однако данные промежуточного вычисления верны. Дело в том, что образец содержал не индивидуальный нитрат железа (II) или нитрат железа (III), а их смесь. Теперь необходимо сделать следующие замены: пусть $\nu(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = x$ моль, а $\nu(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = y$ моль. Составим систему, первое уравнение которой будет описывать условие суммы масс нитратов, а второе — количество вещества образовавшегося оксида.

$$\begin{cases} 180x + 242y = 20,48, \\ 0,5x + 0,5y = \frac{8}{160} = 0,05. \end{cases}$$

Решая систему, получаем $x = 0,06$ моль, $y = 0,04$ моль, тогда

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{180x}{20,48} = \frac{180 \cdot 0,06}{20,48} = 0,527,$$

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 1 - \omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 1 - 0,527 = 0,473.$$

Ответ: $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 52,7 \%$, $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 47,3 \%$.

Предлагаем рассмотреть еще одну задачу с «изюминкой», при решении которой придется составить две системы уравнений и проверить полученные значения.

17. Запишем краткие формулы кислот, обозначая символом n количество атомов углерода в цепи низшего гомолога кислоты — $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$ (вещество 1) и $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CH}_2\text{COOH}$ (вещество 2), их молярные массы равны: $M_1 = 14n + 46$ и $M_2 = 14n + 60$ г/моль соответственно. По условию задачи количество вещества низшего гомолога в смеси больше, чем высшего, в пять раз. Обозначим количество вещества высшего гомолога символом x , тогда имеем $v_2 = x$, $v_1 = 5x$ моль. Таким образом, составим первое уравнение системы:

$$m_1 + m_2 = 37,4,$$

$$M_1 v_1 + M_2 v_2 = 37,4,$$

$$5x(14n + 46) + x(14n + 60) = 37,4 \Rightarrow x(84n + 290) = 37,4. \quad (*)$$

В качестве продуктов образовались сложные метиловые эфиры, это значит, что молярная масса продуктов больше, чем молярная масса исходных веществ, на 14 единиц, т. е. для $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOCH}_3$ (вещество 3) $M_3 = 14n + 60$ и $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CH}_2\text{COOCH}_3$ (вещество 4) $M_4 = 14n + 74$. В тексте также указан выход продуктов, причем не указано, какой именно сложный эфир вышел с выходом 50 %,

а какой — 70 %. Учитывая, что по уравнению реакции $v_1 = v_3$, а $v_2 = v_4$ и что выход 50 % может быть как у вещества 3, так и у вещества 4, имеем либо уравнение

$$5x(14n + 60)0,5 + x(14n + 74)0,7 = 30,3, \quad (**)$$

либо уравнение

$$5x(14n + 60)0,7 + x(14n + 74)0,5 = 30,3. \quad (***)$$

На основе уравнений (*), (**) и (***) имеем две системы уравнений:

$$(1) \begin{cases} x(84n + 290) = 37,4, \\ 5x(14n + 60)0,5 + x(14n + 74)0,7 = 30,3. \end{cases}$$

и

$$(2) \begin{cases} x(84n + 290) = 37,4, \\ 5x(14n + 60)0,7 + x(14n + 74)0,5 = 30,3. \end{cases}$$

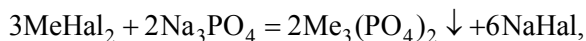
Решая систему (1), получаем, что n является отрицательным, что лишено физического смысла. Решая систему (2), получаем, что $n = 1$, а $x = 0,1$ моль, т. е. низший гомолог кислоты — этановая кислота, высший — пропановая. Массовую долю вещества 1 определим по формуле:

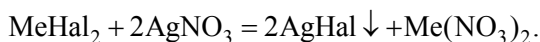
$$\omega_1 = \frac{m_1}{m_{\text{смеси}}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{5 \cdot 0,1 \cdot (14 \cdot 1 + 46)}{37,4} = 0,8021,$$

$$\omega_2 = 1 - \omega_1 = 1,0000 - 0,8021 = 0,1979.$$

Ответ: ω (этановая кислота) = 80,21 %, ω (пропановая кислота) = 19,79 %.

18. Очевидно, что для решения задачи необходимо ввести переменные величины. Пусть молярная масса неизвестного металла Me равна M г/моль, а неизвестного галогенид-иона Hal — H г/моль. Напишем уравнения, отражающие процесс сливания растворов:





Рассчитаем количество всех веществ с известной массой:

$$\nu(\text{MeHal}_2) = \frac{m(\text{MeHal}_2)}{M(\text{MeHal}_2)} = \frac{2,346}{M + 2H} \text{ моль},$$

$$\begin{aligned} \nu(\text{Me}_3(\text{PO}_4)_2) &= \frac{m(\text{Me}_3(\text{PO}_4)_2)}{M(\text{Me}_3(\text{PO}_4)_2)} = \\ &= \frac{2,346}{3M + 2 \cdot (31 + 4 \cdot 16)} = \frac{2,404}{3M + 190} \text{ моль}, \end{aligned}$$

$$\nu(\text{AgHal}) = \frac{m(\text{AgHal})}{M(\text{AgHal})} = \frac{2,82}{108 + H} \text{ моль}.$$

Теперь составим систему уравнений, связывающую в математическом виде количество веществ с учетом стехиометрических коэффициентов реакций:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\nu(\text{MeHal}_2)}{3} = \frac{\nu(\text{Me}_3(\text{PO}_4)_2)}{2}, \\ \nu(\text{MeHal}_2) = \frac{\nu(\text{AgHal})}{2}. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2\nu(\text{MeHal}_2) = 3\nu(\text{Me}_3(\text{PO}_4)_2), \\ 2\nu(\text{MeHal}_2) = \nu(\text{AgHal}). \end{array} \right.$$

Подставим найденные выражения в эту систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \frac{2,346}{M + 2H} = 3 \frac{2,404}{3M + 190}, \\ 2 \frac{2,346}{M + 2H} = \frac{2,82}{108 + H}. \end{array} \right.$$

Упростим равенства и избавимся от знаменателей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4,692}{M+2H} = \frac{7,212}{3M+190}, \\ \frac{4,692}{M+2H} = \frac{2,82}{108+H}. \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 4,692(3M+190) = 7,212(M+2H), \\ 4,692(108+H) = 2,82(M+2H). \end{array} \right.$$

Имеем

$$\left\{ \begin{array}{l} 6,864M - 14,424H = -891,48, \\ 2,82M + 0,948H = 506,736. \end{array} \right.$$

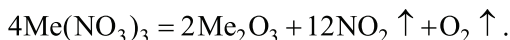
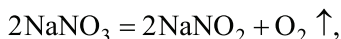
Решая эту систему уравнений, получим, что $M = 137$ ($\text{Me} = \text{Ba}$), а $H = 127$ ($\text{Hal} = \text{I}$). Неизвестная соль — иодид бария.

Ответ: BaI_2 .

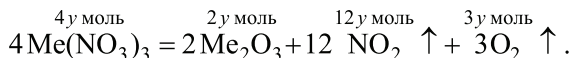
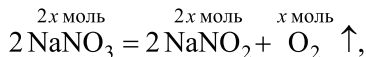
Задачи на составление системы трех уравнений

Принципиально нижеприведенные задачи мало чем отличаются от рассмотренных выше. Отличие заключается лишь в том, что функциональных зависимостей в таких задачах становится больше.

19. Напишем уравнения реакций, описывающих происходящие процессы:



Пусть количество нитрата натрия равно $2x$ моль, а нитрата неизвестного металла — $4y$ моль (коэффициенты 2 и 4 для нитратов соответствуют коэффициентам в реакциях и подобраны для простоты расчетов), тогда



По уравнениям выделилось $x + 12y + 3y = x + 15y$ моль газов. После пропускания газов через раствор гидроксида натрия происходит

растворение оксида азота (IV) с образованием нитрата и нитрита натрия:



После этого остается $(x + 3y)$ моль кислорода.

Составим систему уравнений, описывающую условие задачи, где первое уравнение соответствует сумме масс твердых остатков, второе — объему выделившихся газов, а третье — объему оставшегося кислорода:

$$\begin{cases} m(\text{NaNO}_2) + m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 27,3, \\ V(\text{NO}_2 + \text{O}_2) = 34,72, \\ V(\text{O}_2) = 7,84. \end{cases}$$

Проводя замену $m = \nu \cdot M$ и подставляя все известные величины, имеем

$$\begin{cases} 2x \cdot 69 + 2y \cdot (2M + 48) = 27,3, \\ (x + 15y) \cdot 22,4 = 34,72, \\ (x + 3y) \cdot 22,4 = 7,84. \end{cases}$$

Из второго уравнения вычтем третье и получим

$$12y \cdot 22,4 = 26,88 \Rightarrow y = 0,1 \text{ моль.}$$

Подставляя y в третье уравнение, определяем значение x :

$$22,4(x + 0,3) = 7,84 \Rightarrow x = \frac{7,84}{22,4} - 0,3 = 0,05 \text{ моль.}$$

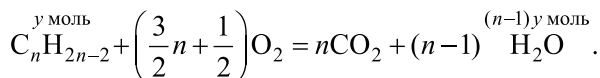
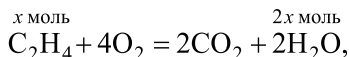
Теперь, зная x и y , легко определить M из первого уравнения системы:

$$\begin{aligned} 2 \cdot 0,05 \cdot 69 + 2 \cdot 0,1 \cdot (2M + 48) &= 27,3 \Rightarrow 2M = \\ &= \frac{27,3 - 6,9}{0,2} - 48 = 54 \Rightarrow M = 27 - \text{Al}. \end{aligned}$$

Неизвестная соль — нитрат алюминия $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.

Ответ: нитрат алюминия.

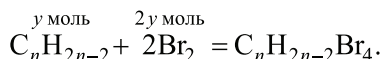
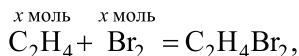
20. Так как нам неизвестно, какой алкадиен находился в смеси, положим, что число атомов углерода в нем равно n . Запишем химическую формулу этого диена: C_nH_{2n-2} . Полагая, что количество этилена равно x моль, а диена — y моль, запишем уравнения полного сжигания органических веществ:



По задаче объем смеси равен 4,48 л. Составим уравнение, соответствующее этому условию:

$$\begin{aligned} V(\text{смеси}) &= V(C_2H_4) + V(C_nH_{2n-2}) = \\ &= \nu(C_2H_4) \cdot 22,4 + \nu(C_nH_{2n-2}) \cdot 22,4 = 4,48, \\ (x + y) \cdot 22,4 &= 4,48. \end{aligned} \quad (*)$$

Запишем уравнение реакций взаимодействия алкена и алкадиена с бромом:



Найдем количество вещества брома, вступившего в реакцию с углеводородом:

$$\begin{aligned} \nu(Br_2) &= \frac{m(Br_2)}{M(Br_2)} = \frac{m(\text{раствора}) \cdot \omega(Br_2)}{M(Br_2)} = \\ &= \frac{V(\text{раствора}) \cdot \rho(\text{раствора}) \cdot \omega(Br_2)}{M(Br_2)}, \end{aligned}$$

подставим все известные величины:

$$\begin{aligned}v(\text{Br}_2) &= \frac{V(\text{раствора}) \cdot \rho(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)} = \\&= \frac{148,1 \cdot 1,8 \cdot 0,15}{160} = 0,25 \text{ моль.}\end{aligned}$$

С другой стороны, такое количество брома израсходовалось на взаимодействие с ненасыщенными углеводородами:

$$v(\text{Br}_2) = x + 2y = 0,25. \quad (**)$$

Наконец, составим уравнение, связывающее неизвестные x и y с массой воды, образовавшейся при сжигании.

Согласно первым двум уравнениям химических реакций, количество полученной воды равно:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 4 \cdot v(\text{C}_2\text{H}_4) + (n-1) \cdot v(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 2x + (n-1)y.$$

В то же время масса воды (в г) равна:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = M(\text{H}_2\text{O}) \cdot v(\text{H}_2\text{O}) = 18[2x + (n-1)y] = 9. \quad (***)$$

Составим систему из трех выведенных уравнений:

$$\begin{cases} (x+y) \cdot 22,4 = 4,48, \\ x+2y = 0,25, \\ 18[2x+(n-1)y] = 9. \end{cases}$$

Решим полученную систему. Левую и правую части первого уравнения разделим на 22,4:

$$x+y = \frac{4,48}{22,4} \Rightarrow x+y = 0,2. \quad (****)$$

Вычтем полученное уравнение из второго уравнения системы и найдем y :

$$x+2y-(x+y) = 0,25-0,2 \Rightarrow y = 0,05.$$

Подставим найденное значение y в уравнение (****) и определим x :

$$x + y = 0,2 \Rightarrow x = 0,2 - y = 0,2 - 0,05 = 0,15.$$

Теперь подставим x и y в третье уравнение системы и определим n :

$$18[2x + (n-1)y] = 9 \Rightarrow 2x + (n-1)y = 0,5,$$

$$2 \cdot 0,15 + (n-1) \cdot 0,05 = 0,5 \Rightarrow n = \frac{0,5 - 2 \cdot 0,15}{0,05} - 1 = 5.$$

Таким образом, мы можем составить химическую формулу алкадиена: C_5H_8 . Единственный возможный вариант разветвленного диена, содержащего пять атомов углерода, — это изопрен или 2-метилбутадиен-1,3.

Ответ: изопрен.

Задачи на составление квадратных уравнений

Некоторые химические задачи невозможно решить без составления квадратных уравнений. Ниже приведены примеры.

21. Напишем уравнение реакции сульфита с соляной кислотой, полагая, что молярная масса неизвестного металла Me равна M г/моль:



Из уравнения реакции видно, что из 1 моль сульфита образуется 1 моль газа, тогда

$$\nu(MeSO_3) = \nu(SO_2),$$

заменим количество веществ соответствующими массами и молярными массами:

$$\frac{m(MeSO_3)}{M(MeSO_3)} = \frac{m(SO_2)}{M(SO_2)},$$
$$\frac{75}{M + 32 + 3 \cdot 16} = \frac{M}{32 + 16 \cdot 2} \Rightarrow \frac{75}{M + 80} = \frac{M}{64}.$$

Из последнего равенства можно получить квадратное уравнение:

$$M(M + 80) = 64 \cdot 75,$$

$$M^2 + 80M - 4800 = 0.$$

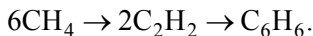
Решим его:

$$M_{1,2} = -\frac{80}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 + 4800} = -40 \pm 80 = \begin{bmatrix} -120 \\ 40 \end{bmatrix}.$$

Естественно, отрицательная молярная масса у элементов не бывает, поэтому $M = 40$ — Ca. Неизвестная соль — CaSO_3 .

Ответ: сульфит кальция.

22. Запишем схематически уравнения реакции, учитывая баланс по углероду:

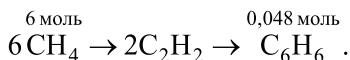


Определим количество израсходованного метана и полученного бензола:

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V_M} = \frac{13,66}{22,4} = 0,6 \text{ моль}.$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{3,744}{12 \cdot 6 + 6} = 0,048 \text{ моль}.$$

Подставим найденные значения в уравнения реакций:



Введем переменные: пусть η_1 — выход первой стадии процесса, а η_2 — второй. Напишем уравнения корреляции между количеством вещества метана и бензола:

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{3\nu(\text{C}_2\text{H}_2)}{\eta_1} = \frac{6\nu(\text{C}_6\text{H}_6)}{\eta_1 \cdot \eta_2},$$

$$v(\text{CH}_4) = \frac{6v(\text{C}_6\text{H}_6)}{\eta_1 \cdot \eta_2},$$

$$0,6 = \frac{6 \cdot 0,048}{\eta_1 \cdot \eta_2},$$

$$\eta_1 \cdot \eta_2 = 0,48.$$

Запишем второе условие задачи, касающееся соотношения выходов реакций:

$$\eta_2(1 - 0,25) = \eta_1 \Rightarrow \eta_1 = 0,75\eta_2.$$

Подставим это равенство в предыдущее:

$$\eta_1 \cdot \eta_2 = 0,75\eta_2 \cdot \eta_2 = 0,48 \Rightarrow \eta_2^2 = 0,64 \Rightarrow \eta_2 = 0,8 \text{ (80 \%)}.$$

Остается вычислить выход первой реакции:

$$\eta_1 = 0,75\eta_2 = 0,75 \cdot 0,8 = 0,6 \text{ (60 \%)}.$$

Ответ: 60 % и 80 %.

23. Для того чтобы определить формулы исходного и конечного углеводорода, составим баланс углерода и водорода.

В левой части общее количество углерода равно xn , а в правой — $y(2n + 2)$, тогда

$$nx = (2n + 2)y. \quad (*)$$

В левой части число атомов водорода равно $x(3n - 4)$, а в правой — $y \cdot 3n$, тогда уравнение, описывающее баланс водорода, будет иметь вид:

$$(3n - 4)x = 3ny. \quad (**)$$

Соберем эти уравнения в систему:

$$\begin{cases} nx = (2n + 2)y, \\ (3n - 4)x = 3ny. \end{cases}$$

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{nx}{(3n-4)x} = \frac{(2n+2)y}{3ny},$$

$$\frac{n}{(3n-4)} = \frac{(2n+2)}{3n},$$

после чего выведем квадратное уравнение:

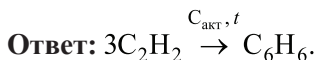
$$3n^2 = (2n+2)(3n-4) \Rightarrow 3n^2 - 2n - 8 = 0.$$

Решим его:

$$n_{1,2} = \frac{2}{6} \pm \sqrt{\left(\frac{2}{6}\right)^2 + \frac{8}{3}} = \frac{2}{6} \pm \frac{10}{6} = \begin{bmatrix} -4/3, \\ 2. \end{bmatrix}$$

Выбираем положительный корень $n = 2$.

Таким образом, исходное вещество — C_2H_2 , а конечное — C_6H_6 . Это реакция тримеризации ацетилена с получением бензола. Реакция протекает в присутствии активированного угля при повышенных температурах (600–650 °C).



24. Это типичная задача с неполным условием. Обозначим молярную массу вещества \mathcal{E}^1H_3 как a г/моль, а молярную массу \mathcal{E}^2H_4 как b г/моль. Здесь \mathcal{E}^1 и \mathcal{E}^2 — неизвестные элементы. Пусть количество вещества \mathcal{E}^1H_3 равно x моль, а количество вещества \mathcal{E}^2H_4 — y моль. Тогда найдем массу газовой смеси:

$$m = \rho \cdot V_m \cdot \sum v = 1,942 \cdot 22,4 \cdot (x + y) = 43,5(x + y).$$

Определим массы неизвестных соединений, если дана массовая доля одного из компонентов:

$$m(\mathcal{E}^2H_4) = \omega(\mathcal{E}^2H_4) \cdot m = 0,5517 \cdot 43,5(x + y) = 24(x + y).$$

$$m(\mathcal{E}^1H_3) = (1 - \omega(\mathcal{E}^2H_4)) \cdot m = (1 - 0,5517) \cdot 43,5(x + y) = 19,5(x + y).$$

Определим количество каждого компонента:

$$v(\Theta^1\text{H}_3) = \frac{m(\Theta^2\text{H}_4)}{M(\Theta^2\text{H}_4)} = \frac{19,5(x+y)}{a},$$

$$v(\Theta^2\text{H}_4) = \frac{m(\Theta^2\text{H}_4)}{M(\Theta^2\text{H}_4)} = \frac{24(x+y)}{b}.$$

Общее количество этих компонентов равно:

$$v(\Theta^1\text{H}_3) + v(\Theta^2\text{H}_4) = \sum v \Rightarrow \frac{19,5(x+y)}{a} + \frac{24(x+y)}{b} = x+y.$$

Решим это уравнение, сокращая левую и правую часть на $(x+y \neq 0)$:

$$\frac{19,5(x+y)}{a} + \frac{24(x+y)}{b} = x+y \Rightarrow \frac{19,5}{a} + \frac{24}{b} = 1,$$

$$19,5b + 24a = ab. \quad (*)$$

Второе уравнение составим, руководствуясь последним условием задачи. Массовую долю водорода в смеси, содержащей одинаковые объемы неизвестных веществ, можно найти следующим образом (при этом одинаковые объемы газов соответствуют одинаковому количеству при $T, P = \text{const}$). Положим, что количество каждого компонента равно z моль, тогда

$$v'(\Theta^1\text{H}_3) = v'(\Theta^2\text{H}_4) = z,$$

$$\omega(\text{H}) = \frac{M(\text{H})v'(\Theta^1\text{H}_3) + M(\text{H})v'(\Theta^2\text{H}_4)}{M(\Theta^1\text{H}_3)v'(\Theta^1\text{H}_3) + M(\Theta^2\text{H}_4)v'(\Theta^2\text{H}_4)} = \frac{3z + 4z}{az + bz} = 0,06364,$$

$$\frac{3+4}{a+b} = 0,06364,$$

$$a+b = \frac{7}{0,06364} \approx 110. \quad (**)$$

Имеем систему двух уравнений (*) и (**):

$$\begin{cases} 19,5b + 24a = ab, \\ a + b = 110. \end{cases}$$

Решим ее, при этом выразим из второго уравнения a или b :

$$a + b = 110 \Rightarrow a = 110 - b.$$

Подставим это выражение в первое уравнение:

$$19,5b + 24(110 - b) = (110 - b)b.$$

Раскрываем скобки и приводим подобные слагаемые. При этом получим квадратное уравнение:

$$b^2 - 114,5b + 2640 = 0.$$

Его корни равны:

$$b_{1,2} = \frac{114,5}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{114,5}{2}\right)^2 - 2640} = 57,25 \pm 25,25 = \begin{bmatrix} 32 \\ 82,5 \end{bmatrix}.$$

Проверим корни.

Если $b = 32$, то молярная масса элемента равна $(b - 4) = 32 - 4 = 28$. Такой молярной массой обладает кремний. Причем кремний способен образовывать водородные соединения, которые называются силанами.

Если $b = 82,5$, то молярная масса элемента равна 78,5. Близкой молярной массой обладает селен. Однако селен образует водородное соединение H_2Se , а не SeH_3 . Следовательно, второй корень квадратного уравнения является посторонним. Определим второй элемент, подставляя $b = 32$ в уравнение (**):

$$32 + a = 110 \Rightarrow a = 78.$$

Молярная масса второго элемента равна молярной массе вещества минус молярная масса трех атомов водорода: $78 - 3 = 75$ г/моль. Такой молярной массой обладает мышьяк. Действительно, мышьяк образует водородное соединение AsH_3 .

Ответ: AsH_3 и SiH_4 .

Задачи на составление неравенств

Очень часто можно встретить задачи, которые необходимо решить при помощи неравенств. Заметить такие задачи также несложно: слова «больше/меньше», «не менее/не более» могут сразу натолкнуть на идею о неравенствах.

25. В данной задаче, как и в предыдущей, за неизвестные лучше брать не количество компонентов, а их массы. Пусть

$$m(\text{CaO}) = x \text{ г}, \text{ а } m(\text{Na}_2\text{O}) = 10 - x, \text{ тогда}$$

$$m(\text{CaO}) > m(\text{Na}_2\text{O}),$$

$$x > 10 - x,$$

$$x > 5 \text{ г}.$$

Определим, какая масса кальция и натрия содержится в смеси оксидов. В одном моле оксида кальция содержится 1 моль кальция, а в одном моле оксида натрия — 2 моль натрия:

$$\nu(\text{CaO}) = \nu(\text{Ca}), \quad \nu(\text{Na}_2\text{O}) = 2\nu(\text{Na}).$$

Заменим в этих выражениях количество вещества на массу и молярную массу, после чего определим из полученных выражений массу металлов:

$$\nu(\text{CaO}) = \nu(\text{Ca}),$$

$$\frac{m(\text{CaO})}{M(\text{CaO})} = \frac{m(\text{Ca})}{M(\text{Ca})},$$

$$\frac{x}{56} = \frac{m(\text{Ca})}{40} \Rightarrow m(\text{Ca}) = \frac{40x}{56} \text{ г}.$$

$$2\nu(\text{Na}_2\text{O}) = \nu(\text{Na}),$$

$$2 \frac{m(\text{Na}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{O})} = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})},$$

$$2 \frac{10 - x}{62} = 2 \frac{m(\text{Na})}{23} \Rightarrow m(\text{Na}) = 2 \frac{23(10 - x)}{62} \text{ г}.$$

По условию задачи масса натрия больше, чем масса кальция, т. е.

$$m(\text{Na}) > m(\text{Ca}),$$

$$2 \frac{23(10-x)}{62} > \frac{40x}{56} \Rightarrow x < 5,1 \text{ г.}$$

Таким образом, в данной смеси масса оксида кальция принимает значения $5,0 < m(\text{CaO}), \text{ г} < 5,1$.

Ответ: $5,0 < m(\text{CaO}), \text{ г} < 5,1$.

26. Смесь состоит из следующих газов: CO_2 (молярная масса 44 г/моль), N_2 (28 г/моль), SO_2 (64 г/моль). Пусть количество вещества углекислого газа в смеси равно x моль, азота — y моль, а оксида серы — z моль. Тогда запишем выражение, связывающее массовую долю серы в смеси с параметрами x , y и z ; при этом учтем, что один моль оксида серы (IV) соответствует одному моль серы ($\nu(\text{SO}_2) = \nu(\text{S})$):

$$\begin{aligned} \omega(\text{S}) &= \frac{\nu(\text{SO}_2)M(\text{S})}{\nu(\text{CO}_2)M(\text{CO}_2) + \nu(\text{N}_2)M(\text{N}_2) + \nu(\text{SO}_2)M(\text{SO}_2)} = \\ &= \frac{32z}{44x + 28y + 64z}, \end{aligned}$$

выразим y через x и z :

$$0,48 = \frac{32z}{44x + 28y + 64z} \Rightarrow y = \frac{1,28z - 21,12x}{13,44}. \quad (*)$$

Выражение (*) связывает количество вещества азота с количеством веществ остальных газов. Чтобы определить возможную объемную долю азота в смеси, необходимо рассмотреть три крайних случая. Пусть вначале в газовой смеси количество углекислого газа ничтожно мало, т. е. $x \ll y, z$. При этом условии можно положить, что x вклад в расчет не вносит, тогда из (*) имеем

$$y = \frac{1,28z - 21,12x}{13,44} \approx \frac{1,28z}{13,44}.$$

Определим объемную долю азота, учитывая то, что объем газа (измеренный при одинаковых условиях) пропорционален его количеству:

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{n(\text{N}_2)}{n(\text{CO}_2) + n(\text{N}_2) + n(\text{SO}_2)} \approx \frac{y}{y+z} = \frac{\frac{1,28z}{13,44}}{\left(\frac{1,28}{13,44} + 1\right)z} = 0,087.$$

Рассмотрим случай, при котором $y \ll x, z$. Единственный удовлетворяющий результат: y — ничтожно малая величина. Теперь, казалось бы, стоит рассмотреть случай, при котором $z \ll x, y$. Однако такое предположение не соблюдается при любых условиях, так как в тексте задачи сказано, что массовая доля серы в смеси 48 %. Настолько большая массовая доля серы уже сама по себе предполагает, что величина z (количество вещества SO_2) не может быть малой величиной. В силу линейной зависимости (*) объемная доля азота также является линейной функцией концентрации других газов. Значит, $0 < \varphi(\text{N}_2), \% < 8,7$.

Ответ: $0 < \varphi(\text{N}_2), \% < 8,7$.

27. При прокаливании карбонатов происходят реакции:



Первый способ. Введем все карбонаты, кроме карбоната магния, в общую формулу MeCO_3 . Тогда общее количество веществ карбоната магния и остальных карбонатов равно количеству вещества CO_2 :

$$\frac{m(\text{MgCO}_3)}{M(\text{MgCO}_3)} + \frac{m(\text{MeCO}_3)}{M(\text{MeCO}_3)} = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}.$$

В этой формуле подставим известные числовые данные молярных масс карбоната магния и оксида углерода (IV), а массу других карбонатов заменим выражением $5 - m(\text{MgCO}_3)$, при этом масса оксида углерода равна $(5 - 2,4) = 2,6$ г (определено по закону сохранения массы):

$$\frac{m(\text{MgCO}_3)}{84} + \frac{5 - m(\text{MgCO}_3)}{M(\text{MeCO}_3)} = \frac{2,6}{44}.$$

Решим данную систему относительно массы карбоната магния:

$$m(\text{MgCO}_3) = \frac{84 \frac{2,6}{44} M(\text{MCO}_3) - 420}{M(\text{MeCO}_3) - 84}.$$

Возможную массу карбоната магния легко можно найти, задавая минимальную и максимальную молярные массы карбонатов металлов в смеси.

При $M(\text{MeCO}_3) = 100$ г/моль — CaCO_3 получим

$$m(\text{MgCO}_3) = \frac{84 \frac{2,6}{44} \cdot 100 - 420}{100 - 84} = 4,77 \text{ г}.$$

При $M(\text{MeCO}_3) = 197$ г/моль — BaCO_3 получим

$$m(\text{MgCO}_3) = \frac{84 \frac{2,6}{44} \cdot 197 - 420}{197 - 84} = 4,94 \text{ г}.$$

Таким образом, масса карбоната магния в смеси карбонатов может принимать значения $4,77 < m(\text{MgCO}_3)$, $\text{г} < 4,94$.

При *втором способе* решения применяется составление системы уравнений. Пусть x (моль) — количество вещества карбоната магния, y (моль) — количество вещества MeCO_3 , а M (г/моль) — молярная масса неизвестного металла. Тогда запи-

шем систему, первое уравнение которой соответствует сумме масс исходных карбонатов, а второе — массе выделившегося CO_2 :

$$\begin{cases} m(\text{MgCO}_3) + m(\text{MeCO}_3) = 5, \\ m(\text{CO}_2) = 5 - m(\text{MgO}) - m(\text{MeO}). \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(\text{MgCO}_3) \cdot v(\text{MgCO}_3) + M(\text{MeCO}_3) \cdot v(\text{MeCO}_3) = 5, \\ M(\text{CO}_2) \cdot v(\text{CO}_2) = 5 - 2,4. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 84x + (M + 60)y = 5, \\ 44(x + y) = 2,6. \end{cases}$$

Из второго уравнения системы выразим x :

$$44(x + y) = 2,6 \Rightarrow x + y = \frac{2,6}{44} \Rightarrow x = \frac{2,6}{44} - y.$$

Подставим полученное выражение в первое уравнение системы:

$$84\left(\frac{2,6}{44} - y\right) + (M + 60)y = 5 \Rightarrow y = \frac{5 - 84\frac{2,6}{44}}{M - 24}.$$

Подставим найденное выражение в уравнение (*):

$$x = \frac{2,6}{44} - y = \frac{2,6}{44} - \frac{5 - 84\frac{2,6}{44}}{M - 24} = \frac{2,6M - 64}{44(M - 24)}.$$

Масса карбоната магния равна:

$$m(\text{MgCO}_3) = M(\text{MgCO}_3) \cdot v(\text{MgCO}_3) = 84 \frac{2,6M - 64}{44(M - 24)}.$$

Определим возможные массовые доли с учетом предположения, что в остатке находится преимущественно карбонат кальция ($\text{Me} = \text{Ca}$, $M = 40$):

$$m(\text{MgCO}_3) = 84 \frac{2,6 \cdot 40 - 64}{44(40 - 24)} = 4,77 \text{ г.}$$

Если в остатке содержится преимущественно карбонат бария ($\text{Me} = \text{Ba}$, $M = 137$), то

$$m(\text{MgCO}_3) = 84 \frac{2,6 \cdot 137 - 64}{44(137 - 24)} = 4,94 \text{ г.}$$

Таким образом, масса карбоната магния может принимать промежуточные значения между 4,77 г и 4,94 г.

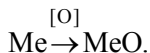
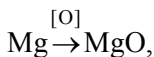
Ответ: $4,77 < m(\text{MgCO}_3), \text{ г} < 4,94$.

28. Очевидно, что задача требует ввести неизвестный параметр M — молярная масса неизвестного металла Me . Определим количество вещества магния и металла:

$$\nu(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{3}{24} = 0,125 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})} = \frac{4}{M} \text{ моль.}$$

Напишем схематически реакции получения оксидов из индивидуальных металлов:



Вычислим по уравнениям реакций массы оксидов:

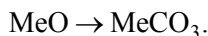
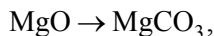
$$\begin{aligned} m(\text{MgO}) &= M(\text{MgO}) \cdot \nu(\text{MgO}) = M(\text{MgO}) \cdot \nu(\text{Mg}) = \\ &= (24 + 16) \cdot 0,125 = 5 \text{ г.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{MeO}) &= M(\text{MeO}) \cdot \nu(\text{MeO}) = M(\text{MeO}) \cdot \nu(\text{Me}) = \\ &= (M + 16) \cdot \frac{4}{M} = \frac{4(M + 16)}{M} \text{ г.} \end{aligned}$$

По условию задачи $m(\text{MgO}) < m(\text{Me}_2\text{O}_n)$, тогда

$$5 < \frac{4(M+16)}{M}. \quad (*)$$

Аналогично схематически записываем реакции образования карбонатов из оксидов:



$$\begin{aligned} m(\text{MgCO}_3) &= M(\text{MgCO}_3) \cdot \nu(\text{MgCO}_3) = \\ &= M(\text{MgCO}_3) \cdot \nu(\text{Mg}) = 84 \cdot 0,125 = 10,5 \text{ г.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{MeCO}_3) &= M(\text{MeCO}_3) \cdot \nu(\text{MeCO}_3) = \\ &= M(\text{MeCO}_3) \cdot \nu(\text{MeO}) = (M+60) \cdot \frac{4}{M} \text{ г.} \end{aligned}$$

По второму условию задачи получаем

$$m(\text{Me}_2(\text{CO}_3)_n) < m(\text{MgCO}_3),$$

$$(M+60) \cdot \frac{4}{M} < 10,5. \quad (**)$$

Соберем неравенства (*) и (**) в систему:

$$\begin{cases} \frac{4(M+16)}{M} > 5, \\ \frac{4(M+60)}{M} < 10,5. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M < 64, \\ M > 36,9. \end{cases} \Rightarrow 36,9 < M < 64.$$

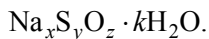
Решение системы неравенств дает единственное рациональное значение $M = 40$ (т. е. неизвестный металл — кальций).

Ответ: Са.

Задачи, решаемые методом подбора параметра

Метод подбора параметра используется в задачах очень часто. Данный метод может помочь в том случае, если из условия ясно, о каких веществах идет речь (хотя бы на уровне элементов), однако неясно соотношение этих веществ или элементов. Обычно за такой параметр принято принимать либо степень окисления неизвестного элемента в веществе, либо количество определенных атомов в молекуле. После составляют уравнение/систему уравнений. При этом нужно отметить, что количество неизвестных (за счет введенного параметра) будет больше, чем уравнений. При получении конечного выражения, связывающего неизвестную величину и параметр, необходимо сделать соответствующую проверку. Проверка проводится путем варьирования параметра в пределах реальных значений с дальнейшим определением неизвестной величины. Рассмотрим, как данный метод реализуется в следующих задачах.

29. В результате обезвоживания соли из нее выделяется вода. Так как в задаче не известен химический состав соли, положим, что x — количество ионов натрия, y — количество ионов серы, z — количество ионов кислорода в соли, а также k — количество воды в кристаллогидрате (целое число). Запишем химическую формулу кристаллогидрата:



Из условия задачи известны массовые доли натрия и серы в соли; таким образом, можно найти коэффициенты x и y :

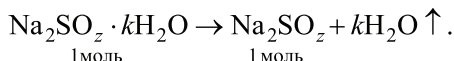
$$x : y = \omega(\text{Na}) : \omega(\text{S}) = \frac{0,1825}{23} : \frac{0,1270}{32},$$

где 0,1825 и 0,1270 — массовые доли натрия и серы, а 23 и 32 — молекулярные массы натрия и серы соответственно.

$$x : y = 0,007935 : 0,003968 = 2 : 1.$$

Таким образом, количество ионов натрия в два раза больше количества ионов серы. Подставим x и y в формулу кристалло-

гидрата, учитывая, что если индекс элемента равен единице, то его не записывают. Уравнение реакции обезвоживания выглядит следующим образом:



Чтобы решить задачу, пусть масса исходного кристаллогидрата равна a г, тогда по условию задачи масса соли после обезвоживания будет в два раза меньше: $a/2$ или $0,5a$ г. По уравнению реакции видно, что

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_z \cdot k\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_z).$$

Заменим количество вещества массой и молярной массой:

$$\frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_z \cdot k\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_z \cdot k\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_z)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_z)}.$$

Подставим все числовые значения:

$$\frac{a}{23 \cdot 2 + 32 + 16z + 18k} = \frac{0,5a}{23 \cdot 2 + 32 + 16z};$$

$$\frac{a}{78 + 16z + 18k} = \frac{0,5a}{78 + 16z} \quad | : a \neq 0;$$

$$\frac{1}{78 + 16z + 18k} = \frac{0,5}{78 + 16z},$$

откуда

$$k = \frac{78 + 16z}{18}.$$

Коэффициент k можно легко определить, задавая значение z . При $z = 3$ (соль — сульфит) количество воды в кристаллогидрате равно

$$k = \frac{78 + 16 \cdot 3}{18} = 7,$$

т. е. неизвестный кристаллогидрат имеет формулу $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Если z равно 4 (соль — сульфат), то

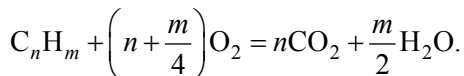
$$k = \frac{78 + 16 \cdot 4}{18} = 7,889$$

не подходит.

Неизвестное вещество — 7-водная соль сульфита натрия.

Ответ: $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

30. Пусть существует углеводород, который имеет в своем составе n атомов углерода и m атомов водорода. Химическую формулу такого углеводорода можно записать как C_nH_m . Напишем уравнение реакции полного окисления этого вещества:



Поскольку неизвестно, какое количество вещества подверглось окислению, примем, что $\nu(\text{C}_n\text{H}_m) = x$ моль, тогда по уравнению реакции $\nu(\text{O}_2) = (n + m/4)x$ моль, а $\nu(\text{CO}_2) = nx$ моль. По условию задачи сумма объемов углеводорода и кислорода в два раза больше объема оксида углерода, т. е.

$$V(\text{C}_n\text{H}_m) + V(\text{O}_2) = 2V(\text{CO}_2).$$

Заменим объем каждого компонента произведением количества вещества и молярного объема:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_m) \cdot 22,4 + \nu(\text{O}_2) \cdot 22,4 = 2\nu(\text{CO}_2) \cdot 22,4,$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_m) + \nu(\text{O}_2) = 2\nu(\text{CO}_2).$$

Подставим количество каждого газового компонента в уравнение, взяв соответствующие коэффициенты из реакции:

$$1 \cdot x + \left(n + \frac{m}{4}\right) \cdot x = 2n \cdot x.$$

Из этого уравнения вытекает важная особенность, поскольку его решение не зависит от количества исходного вещества.

Поэтому левую и правую части этого уравнения можно разделить на x . Таким образом, при решении подобных задач можно пользоваться только стехиометрическими коэффициентами:

$$1 + \left(n + \frac{m}{4} \right) = 2n \Rightarrow n - \frac{m}{4} = 1.$$

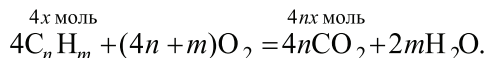
Из данной формулы ясно, что количество атомов водорода должно быть числом, кратным 4. Методом перебора определяем неизвестный углеводород:

- если $m = 0$, то $n = 1$, что соответствует $C_1H_0 = C$ — это углерод, не подходит;
- если $m = 4$, то $n = 2$, что соответствует C_2H_4 — это этилен;
- если $m = 8$, то $n = 3$, что соответствует C_3H_8 — это пропан;
- если $m = 12$, то $n = 4$, что соответствует C_4H_{12} — такого углеводорода не существует.

Как видно из метода перебора, при увеличении m происходит переход от непредельных углеводородов к предельным (насыщенным). Дальнейший подбор n проводить бессмысленно, так как уже для $n = 4$ максимальное возможное количество водорода должно быть 10 (для бутана), а расчет дает $m = 12$.

Ответ: этилен или пропан.

31. Запишем реакцию, описывающую сжигание неизвестного углеводорода. При этом обозначим, что его количество равно x моль, а формула описывается как C_nH_m :



Запишем условие корреляции массы углекислого газа и углеводорода:

$$\begin{aligned} \frac{m(CO_2)}{m(C_nH_m)} = 3 &\Rightarrow \frac{M(CO_2) \cdot \nu(CO_2)}{M(C_nH_m) \cdot \nu(C_nH_m)} = 3 \Rightarrow \frac{44 \cdot 4nx}{(12n + m) \cdot 4x} = 3 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{44nx}{(12n + m) \cdot x} = 3 \Rightarrow 44nx = 36nx + 3mx \Rightarrow 8xn = 3mx \Rightarrow n = \frac{3}{8}m. \end{aligned}$$

Учитывая, что n должно быть целым числом, получаем, что m должно быть кратно 8.

При $m = 8$, $n = 3$ это C_3H_8 — пропан. Если $m = 16$, $n = 6$, получается C_6H_{16} — такого соединения не существует. При $m \neq 8$ решения нет.

Ответ: C_3H_8 — пропан.

32. Запишем формулу органического вещества, в котором x и y — количество атомов C, H (C_xH_yO), а также реакцию его окисления:



По условию задачи

$$v(O_2) = 7v(C_xH_yO).$$

Подставляя в это равенство стехиометрические коэффициенты реакции, получим

$$4x + y - 2 = 7 \cdot 4,$$

$$4x + y = 30.$$

Целесообразно применить метод подбора для определения неизвестного спирта:

- пусть $x = 1$, $y = 26$, подставим эти значения в формулу C_xH_yO : $CH_{26}O$ лишено физического смысла;
- при $x = 2$, $y = 22$ получим $C_2H_{22}O$ — формула лишена физического смысла;
- при $x = 3$, $y = 18$ получим $C_3H_{18}O$ — формула лишена физического смысла;
- при $x = 4$, $y = 14$ получим $C_4H_{14}O$ — такого соединения не существует;
- при $x = 5$, $y = 10$ получим $C_5H_{10}O$ — такой формулой обладают спирты с одной двойной связью C_5H_9OH — алкенолы или циклоалканола;
- при $x = 6$, $y = 6$ получим C_6H_6O или C_6H_5OH — фенол;

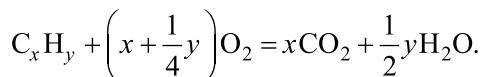
- при $x = 7, y = 2$ получим C_7H_2O — формула лишена физического смысла;
- при $x = 8, y = -2$ формула лишена физического смысла из-за отрицательного значения y .

Таким образом, условию задачи соответствуют вещества с формулами C_5H_9OH и C_6H_5OH .

Ответ: алкенолы или циклоалканолаы с общей формулой C_5H_9OH , а также фенол C_6H_5OH .

Эта задача интересна тем, что в ней нет единственного решения, так как ответу соответствует большое количество веществ. (А какое число изомеров соответствуют спиртам, обладающих формулой C_5H_9OH ?)

33. Примем формулу неизвестного углеводорода как C_xH_y . Напишем уравнение его полного сжигания:



По условию задачи имеем

$$\frac{V(CO_2)}{V(\text{исх. смеси})} = \frac{3}{5}.$$

Поскольку речь идет об объемах газов, измеренных при одинаковых условиях, то эти объемы можно заменить количеством каждого вещества:

$$\frac{v(CO_2)}{v(\text{исх. смеси})} = \frac{v(CO_2)}{v(C_xH_y) + v(O_2)} = \frac{3}{5}.$$

Подставляем все известные величины в последнее уравнение, учитывая стехиометрические коэффициенты реакции:

$$\frac{v(CO_2)}{v(C_xH_y) + v(O_2)} = \frac{x}{1 + x + \frac{1}{4}y} = \frac{3}{5} \Rightarrow y = \frac{8}{3}x - 4.$$

Из этого уравнения видно, что количество атомов углерода не может быть дробным числом, поэтому величина x должна быть кратна трем. Требуемые вещества определим методом подбора:

- при $x = 3, y = 4$ получаем C_3H_4 — это пропин или пропadiен;
- при $x = 6, y = 12$ получаем C_6H_{12} — гексен или циклогексан;
- при $x = 9, y = 20$ получаем C_9H_{20} — нонан.

Видно, что с увеличением x происходит увеличение степени насыщенности углеводорода, так как для $x = 9$ получается максимально насыщенное соединение. Поэтому дальнейший перебор проводить бессмысленно.

Ответ: C_3H_4 , или C_6H_{12} , или C_9H_{20} .

34. Начнем решение задачи с определения вещества, содержащего водород. Пусть молярная масса элемента Б равна b г/моль. Так как мы не знаем количество водорода, содержащегося во втором веществе, обозначим эту величину как n . Тогда химическую формулу такого вещества запишем как BH_n . Массовая доля водорода в этом веществе равна:

$$\omega(H) = \frac{m(H)}{m(BH_n)} = \frac{\nu(H) \cdot M(H)}{\nu(BH_n) \cdot M(BH_n)}.$$

Возьмем любое количество этого вещества, например, x моль, и получим

$$\omega(H) = \frac{\nu(H) \cdot M(H)}{\nu(BH_n) \cdot M(BH_n)} = \frac{x \cdot n}{x(b+1 \cdot n)} = \frac{n}{b+n} = 0,05 \Rightarrow b = 19n.$$

Определим элемент Б, если количество водорода в веществе BH_n может варьироваться от 1 до 7.

Если $n = 1$, то $b = 19$. Такой молярной массой обладает фтор, при этом фтор образует кислородные соединения HF и H_2F_2 , первое из которых может находиться в паровом состоянии. Подходит. Проверим остальные варианты:

- если $n = 2$, то $b = 19 \cdot 2 = 57$ — элемента с такой молярной массой нет;

- если $n = 3$, то $b = 19 \cdot 3 = 38$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $n = 4$, то $b = 19 \cdot 4 = 76$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $n = 5$, то $b = 19 \cdot 5 = 95$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $n = 6$, то $b = 19 \cdot 6 = 114$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $n = 7$, то $b = 19 \cdot 3 = 133$ — элемента с такой молярной массой нет.

Таким образом, подходит только первый вариант.

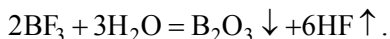
Определим вещества, содержащие элементы А и фтор, учитывая, что фтор во фторидах одновалентен, т. е. химическую формулу напомним как AF_m . Массовую долю элемента А найдем как и в первом случае, учитывая, что его молярная масса равна a г/моль:

$$\omega(A) = \frac{\nu(A) \cdot M(A)}{\nu(AF_m) \cdot M(AF_m)} = \frac{a}{a + 19m} = 0,1618 \Rightarrow a = 3,668m.$$

Проверим варианты:

- если $m = 1$, то $a = 3,668$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $m = 2$, то $a = 7,336$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $m = 3$, то $a = 11,004$ — элемент, обладающий такой молярной массой, — бор, при этом бор образует соединение с фтором BF_3 . Подходит;
- если $m = 4$, то $a = 14,672$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $m = 5$, то $a = 18,34$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $m = 6$, то $a = 22,008$ — элемента с такой молярной массой нет;
- если $m = 7$, то $a = 25,676$ — элемента с такой молярной массой нет.

Напишем уравнение гидролиза фторида бора:



Ответ: $2\text{BF}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{B}_2\text{O}_3 + 6\text{HF}$.

35. Обозначим через параметры n и m количество атомов углерода и водорода в углеводороде соответственно. Химическую формулу такого вещества можно записать как C_nH_m . Определим коэффициенты n и m , полагая, что масса этого вещества равна a г:

$$\begin{aligned} n : m &= \frac{m(\text{C}_n\text{H}_m) \cdot \omega(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{C}_n\text{H}_m) \cdot \omega(\text{H})}{M(\text{H})} = \\ &= \frac{a(1 - \omega(\text{H}))}{M(\text{C})} : \frac{a\omega(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{(1 - \omega(\text{H}))}{M(\text{C})} : \frac{\omega(\text{H})}{M(\text{H})}. \end{aligned}$$

На данном этапе хочется отметить, что, во-первых, массовая доля углерода равна разности между единицей и массовой долей водорода (так как вещество состоит только из этих двух атомов); во-вторых, не важно, какую массу углеводорода брать, так как из отношения $n : m$ следует, что она (a) сокращается. Поэтому можно сразу выражать параметры n и m через массовые доли и молярные массы соответствующих элементов.

$$n : m = \frac{(1 - \omega(\text{H}))}{M(\text{C})} : \frac{\omega(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{1 - 0,0588}{12} : \frac{0,0588}{1} = 0,0784 : 0,0588.$$

Нами получено соотношение атомов углерода и водорода в неизвестном веществе. Попробуем определить теперь конкретные значения параметров n и m . Сначала разделим полученные величины на наименьшее значение:

$$n : m = \frac{0,0784}{0,0588} : \frac{0,0588}{0,0588} = 1,333 : 1.$$

После деления мы получили, что n является дробным, чего быть, конечно, не может. Замечая, что произведение 1,333 и числа,

кратные трем, являются целым, умножим полученные значения на 3:

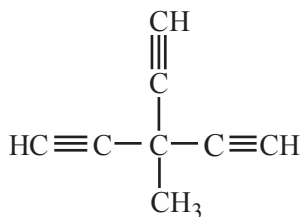
$$n : m = 1,333 \cdot 3 : 1 \cdot 3 = 4 : 3.$$

Полученные данные нефизичны, так как в углеводородах количество атомов водорода всегда четное. Поэтому вновь умножим (*) на 6:

$$n : m = 1,333 \cdot 6 : 1 \cdot 6 = 8 : 6.$$

Углеводород, имеющий в своем составе 8 атомов углерода и 6 атомов водорода, существует — это вещество, содержащее в своем составе три тройные связи. Так как в условии задачи сказано, что с металлом углеводород образует соль, то одна из трех связей обязательно должна быть концевой.

Приведем возможные структурные формулы неизвестного вещества:



Определим металл, который образует неизвестную соль. Пусть в реакцию с 1 моль углеводорода вступило x моль металла Me (его молярная масса равна M г/моль), тогда химическую формулу соли можно записать как $\text{C}_8\text{H}_{6-x}\text{Me}_x$, где x — число замещенных атомов водорода ($x = 1, 2, 3$). Определим неизвестный металл по его массовой доле в соли, учитывая, что его степень окисления равна +1:

$$\begin{aligned}\omega(\text{C}_8\text{H}_{6-x}\text{Me}_x) &= \frac{\nu(\text{Me}) \cdot M(\text{Me})}{\nu(\text{C}_8\text{H}_{6-x}\text{Me}_x) \cdot M(\text{C}_8\text{H}_{6-x}\text{Me}_x)} = \\ &= \frac{x \cdot M}{1 \cdot (8 \cdot 12 + 1 \cdot (6 - x) + x \cdot M)} = \frac{Mx}{102 + x + Mx} = \\ &= 0,1750 \Rightarrow M = \frac{0,1750 \cdot 102 + 0,1750 \cdot x}{(1 - 0,1750) \cdot x}.\end{aligned}$$

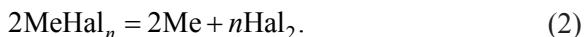
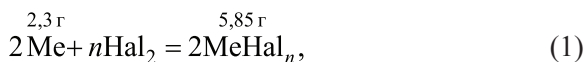
Проверим варианты:

- при $x = 1$ $M = 22$ — элемента с такой молярной массой нет;
- при $x = 2$ $M = 11$ — это бор, но бор не имеет степень окисления +1;
- при $x = 3$ $M = 7$ — это литий, металл проявляет степень окисления +1 и образует с алкинами соли;
- при $x = 4$ $M = 5,6$ — элемента с такой молярной массой нет.

Ответ: $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{C}\equiv\text{CLi})_3$.

36. Это типичная задача с неполным условием. В тексте не указан металл, вступивший в реакцию, и какой именно галоген был взят. Но количество неизвестных на этом не заканчивается: еще одна важная величина — степень окисления металла в галогениде. Введем следующие переменные: M — молярная масса неизвестного металла, n — его степень окисления, x — молярная масса галогена.

Напишем уравнения реакции, соответствующие процессам взаимодействия и электролиза (по сути, это одна и та же реакция, протекающая в разных направлениях):



По уравнению (1) из 2 моль металла образуется 2 моль галогенида металла, т. е.

$$\nu(\text{Me}) = \nu(\text{MeHal}_n).$$

Заменяем моль на массу и молярную массу соответствующих веществ:

$$\frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})} = \frac{m(\text{MeHal}_n)}{M(\text{MeHal}_n)}.$$

Теперь подставим известные числовые значения масс и молярных масс:

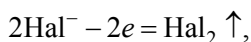
$$\frac{2,3}{M} = \frac{5,85}{M + nx}. \quad (*)$$

Второе уравнение (уравнение Фарадея) связывает количество пропущенного электричества через расплав с числом моль выделившегося при этом газа (галогена):

$$v(\text{Hal}_2) = \frac{It}{Fz} = \frac{Q}{Fz},$$

где I — ток, А; t — время прохождения тока; F — постоянная Фарадея, $A = 96500$ Кл/моль; z — количество электронов, участвующих в окислительно-восстановительной реакции; Q — количество электричества, Кл.

Так как для перевода аниона галогена в молекулярный галоген требуется 2 электрона:



а по реакции (2) выделяется n моль галогена, то $z = 2n$.

По уравнению (2) из 2 моль галогенида металла выделяется n моль галогена, следовательно,

$$\frac{v(\text{MeHal}_2)}{2} = \frac{v(\text{Hal}_2)}{n} \Rightarrow v(\text{Hal}_2) = \frac{v(\text{MeHal}_2)n}{2}. \quad (**)$$

По уравнению Фарадея имеем

$$v(\text{Hal}_2) = \frac{9650}{96500 \cdot 2 \cdot n}. \quad (***)$$

Так как левые части уравнений (**) и (***) равны, то равны и правые части, при этом для простоты расчетов заменим количество вещества галогенида металла на количество вещества металла (они равны согласно $\nu(\text{Me}) = \nu(\text{MeHal}_n)$):

$$\frac{\nu(\text{Me})n}{2} = \frac{9650}{96500 \cdot 2 \cdot n} \Rightarrow \frac{2,3}{M} \cdot \frac{n}{2} = \frac{9650}{96500 \cdot 2 \cdot n} \Rightarrow M = 23n^2.$$

Теперь можно определить металл, перебирая значения n от 1 до 7:

- при $n = 1$ $M = 23$ — такой молярной массой обладает натрий;
- при $n = 2$ $M = 92$ — элемента с такой молярной массой нет;
- при $n = 3$ $M = 207$ — такую молярную массу имеет свинец, но у свинца не бывает степень окисления +3;
- при $n = 4$ $M = 368$ — такой большой молярной массы не имеет ни один из известных элементов.

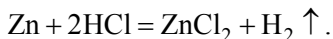
Неизвестный металл — натрий. Теперь, подставляя $M = 23$ и $n = 1$ в уравнение (1), находим, что $x = 35,5$. Такую молярную массу имеет хлор.

Ответ: хлор.

Параметрические задачи

Задачи на введение параметра сильно отличаются от задач с подбором параметра. Это отличие состоит в том, что при попытке решения таких задач нужно вводить параметры, которые не заданы в задаче и не присутствуют в итоговом ответе. При этом введение параметра является обязательным, и без него задачу решить достаточно трудно.

37. Начало решения является вполне классическим — составим уравнение химической реакции и вычислим массу цинка, вступившего в реакцию с кислотой. Стоит отметить, что соляная кислота полностью израсходовалась в реакции, поскольку после определенного момента времени прекратилось выделение пузырьков газа:



Рассчитаем количество соляной кислоты по известным данным массы раствора, массовой доли HCl в нем и молярной массы HCl:

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{98,27 \cdot 0,1}{36,5} = 0,2692 \text{ моль.}$$

По уравнению реакции количество цинка, вступившего в реакцию, в два раза меньше, чем количество хлороводорода, т. е.

$$\nu(\text{Zn}) = \frac{\nu(\text{HCl})}{2} = \frac{0,2692}{2} = 0,1346 \text{ моль.}$$

Тогда масса цинка равна:

$$m(\text{Zn}) = M(\text{Zn})\nu(\text{Zn}) = 65 \cdot 0,1346 = 8,749 \text{ г.} \quad (*)$$

На следующем этапе решения требуется найти массу брошенного в раствор образца цинка. Анализируя условие задачи, можно догадаться, что в тексте информация о радиусе шарика приведена не случайно. Попробуем связать радиусы начального и конечного шариков сначала с их объемами, а потом — и с массами.

Введем параметр R , который определяет радиус начального шарика. Запишем формулу для нахождения его объема:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Для того чтобы связать объем с массой, необходимо знать плотность цинка. Поскольку в тексте задачи об этом ничего не сказано, то попытаемся ввести еще один параметр ρ , обозначающий плотность этого металла. Теперь можно найти массу начального шарика:

$$m_1 = V_1 \rho = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho, \text{ г.} \quad (**)$$

Аналогичным образом находим объем (V_2) и массу (m_2) конечного шарика, если его радиус в два раза меньше, чем начального:

$$V_2 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{R}{2}\right)^3 = \frac{1}{6}\pi R^3,$$

$$m_2 = V_2\rho = \frac{1}{6}\pi R^3\rho, \text{ г.}$$

Зная массу начального и конечного шарика, можно найти их разность:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{4}{3}\pi R^3\rho - \frac{1}{6}\pi R^3\rho = \frac{7}{6}\pi R^3\rho. \quad (***)$$

Эта разность соответствует массе цинка, прореагировавшего с кислотой:

$$\Delta m = m(\text{Zn}),$$

поэтому приравняем правые части уравнений (*) и (***) и выразим произведение введенных нами параметров (для удобства вместе с числом π) через числовые данные:

$$\frac{7}{6}\pi R^3\rho = 8,749 \Rightarrow \pi R^3\rho = \frac{8,749 \cdot 6}{7}.$$

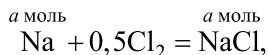
Для вычисления массы начального шарика цинка остается подставить это выражение в уравнение (**):

$$m_1 = \frac{4}{3}\left(\pi R^3\rho\right) = \frac{4}{3} \cdot \frac{8,749 \cdot 6}{7} = 9,999 \approx 10 \text{ г.}$$

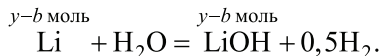
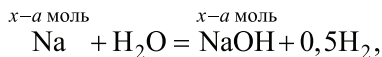
Ответ: $m(\text{шарик}) = 10 \text{ г.}$

38. Эта задача с неполным условием, так как неизвестно, какая часть смеси щелочных металлов прореагировала с хлором, а какая прореагировала с водой. Хлор был взят в недостатке, так как при растворении оставшейся части металлов выделялся газ (водород).

Примем, что x — количество вещества натрия, y — количество вещества лития. Пусть с хлором прореагировало a моль ($a < x$) натрия и b моль лития ($b < y$), тогда



Остальная часть смеси металлов растворена в воде. Причем количество натрия равно $(x - a)$ моль, а лития — $(y - b)$ моль.



По условию задачи выделилось 0,56 л водорода, т. е. 0,025 моль. Тогда по уравнению реакции растворения в воде сумма оставшегося количества натрия и лития в два раза больше, чем количество выделившегося водорода, т. е.

$$x - a + y - b = 0,05. \quad (*)$$

Напишем теперь условие равенства мольных концентраций:

$$c_{\text{Na}^+} + c_{\text{Cl}^-} = c_{\text{Li}^+} + c_{\text{OH}^-}.$$

Учитывая, что мольные концентрации равны количеству молей соответствующего компонента на объем раствора, имеем:

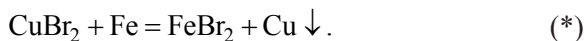
$$x + [a + b] = y + [(x - a) + (y - b)] \Rightarrow y = a + b.$$

количество хлорид-ионов при взаимо- действии с хлором	количество образовав- шихся ОН-ионов при растворении натрия	количество образовав- шихся ОН-ионов при растворении лития
---	--	---

Подставим y в (*) и получим, что $x = 0,05$ моль. Тогда масса натрия равна $23 \cdot 0,05 = 1,15$ г.

Ответ: $m(\text{Na}) = 1,15$ г.

39. Прежде чем составить реакции, описывающие условия задачи, проанализируем ее текст и определим неизвестный металл. При добавлении железных стружек в раствор, содержащий бромид меди (II), происходит реакция:



Выпавшее индивидуальное вещество — это медь и при этом образовался бромид железа (II). Если бы в состав второго бромида входил другой металл (который может быть вытеснен железом), то выпадал бы осадок смеси металлов, что противоречит условию задачи. Если бы в состав второго бромида входил бы металл, который не может быть вытеснен железом, то в конечном растворе было бы два различных бромида, что тоже противоречит условию задачи. Единственный вариант второго бромида — бромид железа (III), т. е. FeBr_3 :



Как видно из уравнения реакции (**), образуется тот же бромид железа (II).

Теперь решим предложенный пример. Стоит отметить, что эта задача с неполным условием, поскольку неизвестно, какое количество бромидов содержалось в исходном растворе и какая масса железных стружек была добавлена в раствор. Подобные задачи с неполным условием обычно решают путем введения нескольких переменных. В качестве таких переменных возьмем x (моль) — количество вещества бромида меди (II), $2y$ (моль) — количество вещества бромида железа (III). Параметры x и $2y$ взяты согласно стехиометрическим коэффициентам реакций (1) и (2). Кроме того, введем параметр, который поможет решить задачу: a (г) — масса начального раствора.

Таким образом, необходимо найти значения следующих выражений:

$$\omega(\text{FeBr}_3) = \frac{M(\text{FeBr}_3)v(\text{FeBr}_3)}{m_{\text{H}}(\text{раствора})} = \frac{296 \cdot 2 \cdot y}{a} = \frac{592}{a} y$$

и

$$\omega(\text{CuBr}_2) = \frac{M(\text{CuBr}_2)v(\text{CuBr}_2)}{m_{\text{H}}(\text{раствора})} = \frac{223,5 \cdot x}{a}.$$

Начнем решение с условия о массовых долях солей. Если они равны:

$$\omega(\text{FeBr}_3) = \omega(\text{CuBr}_2),$$

то равны и массы этих солей в начальном растворе:

$$\frac{m(\text{FeBr}_3)}{m_{\text{H}}(\text{раствора})} = \frac{m(\text{CuBr}_2)}{m_{\text{H}}(\text{раствора})}.$$

Представим массу каждого компонента в виде произведения их молярной массы и количества вещества:

$$\frac{M(\text{FeBr}_3) \cdot v(\text{FeBr}_3)}{m_{\text{H}}(\text{раствора})} = \frac{M(\text{CuBr}_2) \cdot v(\text{FeBr}_3)}{m_{\text{H}}(\text{раствора})}.$$

Теперь подставим все известные величины и введенные нами параметры в последнее уравнение:

$$\frac{(56 + 3 \cdot 80) \cdot 2y}{a} = \frac{(63,5 + 2 \cdot 80) \cdot x}{a},$$

$$\frac{592y}{a} = \frac{223,5x}{a} \Rightarrow 592y = 223,5x. \quad (***)$$

Запишем второе условие задачи:

$$\omega(\text{FeBr}_2) = 0,205.$$

Выразим массовую долю бромидов железа (II) через его массу и массу конечного раствора:

$$\omega(\text{FeBr}_2) = \frac{m(\text{FeBr}_2)}{m_{\text{к}}(\text{раствора})} = 0,102. \quad (****)$$

Массу бромиды железа (II) можно легко определить, зная его количество. Согласно реакции (1), на образование x моль FeBr_2 расходуется x моль железный стружек, тогда как по реакции (2) на образование $3y$ моль FeBr_2 расходуется y моль железных стружек. Поэтому

$$m(\text{FeBr}_2) = M(\text{FeBr}_2) \cdot v(\text{FeBr}_2) = (56 + 2 \cdot 80) \cdot (x + 3y) = 216(x + 3y).$$

Массу конечного раствора можно найти, зная массу начального раствора, массу добавленных стружек и массу выпавшего осадка (меди):

$$m_{\text{к}}(\text{раствора}) = m_{\text{н}}(\text{раствора}) + m(\text{Fe}) - m(\text{Cu}).$$

По уравнениям реакций (1) и (2) добавлено $(x + y)$ моль Fe и выпало y моль Cu, тогда:

$$m_{\text{к}}(\text{раствора}) = m_{\text{н}}(\text{раствора}) + M(\text{Fe}) \cdot v(\text{Fe}) - M(\text{Cu}) \cdot v(\text{Cu}).$$

Подставим все необходимые данные в последнее уравнение:

$$m_{\text{к}}(\text{раствора}) = a + 56(x + y) - 63,5y = a + 56x - 7,5y.$$

Подставим найденные нами выражения в уравнение (***):

$$\omega(\text{FeBr}_2) = \frac{216(x + 3y)}{a + 56x - 7,5y} = 0,102. \quad (*****)$$

Соберем уравнения (*** и (*****) в систему:

$$\begin{cases} 592y = 223,5x, \\ \frac{216(x + 3y)}{a + 56x - 7,5y} = 0,102. \end{cases}$$

Решим систему из двух уравнений. Для этого из первого уравнения определим значение x и подставим его во второе (предварительно преобразованное) уравнение системы:

$$592y = 223,5x \Rightarrow x = \frac{592}{223,5}y,$$

$$\frac{216(x+3y)}{a+56x-7,5y} = 0,102 \Rightarrow \frac{(x+3y)}{a+56x-7,5y} = \frac{0,102}{216} \Rightarrow$$

$$\left(1 - \frac{0,102}{216} \cdot 56\right) \cdot x + \left(3 + \frac{0,102}{216} \cdot 7,5\right)y = \frac{0,102}{216} \cdot a.$$

Учитывая уравнение (**), имеем

$$\left(1 - \frac{0,102}{216} \cdot 56\right) \cdot \frac{592}{223,5}y + \left(3 + \frac{0,102}{216} \cdot 7,5\right)y = \frac{0,102}{216} \cdot a.$$

Выразим из этого уравнение параметр a :

$$a = \frac{\left[\left(1 - \frac{0,102}{216} \cdot 56\right) \cdot \frac{592}{223,5} + \left(3 + \frac{0,102}{216} \cdot 7,5\right)\right]y}{\frac{0,102}{216}}.$$

Проводя вычисления последнего выражения, получаем

$$a = \frac{\left[\left(1 - \frac{0,102}{216} \cdot 56\right) \cdot \frac{592}{223,5} + \left(3 + \frac{0,102}{216} \cdot 7,5\right)\right]y}{\frac{0,102}{216}} \approx 11821,269y.$$

После нахождения выражения $a = f(y)$ подставим его в выражение для нахождения требуемой массовой доли бромид железа (III):

$$\omega(\text{FeBr}_3) = \frac{592}{a}y = \frac{592y}{11821,269y} = 0,0500 \text{ (5 \%)}.$$

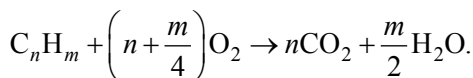
Ответ: $\omega(\text{FeBr}_3) = \omega(\text{CuBr}_2) = 5 \text{ \%}$.

40. Запишем формулы исходных веществ. Химическая формула пропadiens — C_3H_4 , пропилен — C_3H_6 , пентadiens — C_5H_8 и, наконец, 1-винилциклопентен — C_7H_{10} . Пусть в качестве параметров будут выступать следующие величины:

$$v(C_3H_4) = a, v(C_3H_6) = b, v(C_5H_8) = \tilde{n}, v(C_7H_{10}) = d \text{ и т.д.}$$

При полном каталитическом гидрировании перечисленных веществ получаются алканы: для пропadiens и пропилен — пропан C_3H_8 , для пентadiens — пентан C_5H_{12} и для 1-винилциклопентен — гептан C_7H_{16} . Легко показать, что при этом на восстановление тратится $2a + b + 2c + 3d$ моль водорода.

Горение любых углеводородов можно выразить реакцией:



Из реакции видно, что количество углекислого газа определяется количеством атомов углерода, содержащихся в углеводороде:

$$v(C_nH_m) = n \cdot v(CO_2).$$

Согласно этому, количество углекислого газа равно:

$$3a + 3b + 5c + 7d \text{ моль.}$$

Так как объемы газов пропорциональны количеству (при одинаковых условиях), то можем получить

$$2V(H_2) = V(CO_2) \Rightarrow 2v(H_2) = v(CO_2).$$

Подставим в последнее уравнение выведенные выражения:

$$2(2a + b + 2c + 3d) = 3a + 3b + 5c + 7d \Rightarrow a - b - c - k = 0.$$

Определим из этого уравнения количество пропadiens:

$$a - b - c - k = 0 \Rightarrow a = b + c + d. \quad (*)$$

Объемную долю пропадиена найдем по формуле, не забывая, что количество газов пропорционально объему:

$$\varphi(\text{пропадиена}) = \frac{V(\text{пропадиена})}{V(\text{смеси})} = \frac{n(\text{пропадиена})}{n(\text{смеси})} = \frac{a}{a+b+c+d}.$$

Принимая во внимание (*), получим, что

$$\varphi(\text{пропадиена}) = \frac{a}{a+(b+c+d)} = \frac{a}{a+a} = 0,5 \text{ (50 \%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{пропадиена}) = 50 \%$.

41. Требуется найти выражение, связывающее количество третичных атомов углерода с параметрами a , b и d . Пусть существует алкан с химической формулой C_nH_{2n+2} . Количество первичных атомов углерода обозначим a , вторичных — b , третичных — c и четвертичных — d . Тогда количество атомов водорода у первичного атома углерода будет равно $3a$, у вторичного — $2b$, у третичного — c .

Составим систему, первое уравнение которой показывает общее количество атомов углерода в алкане, а второе — общее количество атомов водорода:

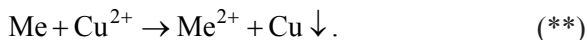
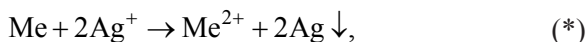
$$\begin{cases} n = a + b + c + d, \\ 2n + 2 = 3a + 2b + c. \end{cases}$$

Подставим первое уравнение во второе:

$$2(a+b+c+d)+2=3a+2b+c \Rightarrow c=a-2d-2.$$

Ответ: число третичных атомов равно $a-2d-2$, где a — количество первичных атомов углерода, а d — четвертичных.

42. Запишем уравнения реакции, которые проходят в процессе замещения одного металла другим:



Обозначим символом M молярную массу металла, тогда по первой реакции растворение x моль неизвестного металла приводит к выделению x моль серебра, а по второй — на x моль неизвестного металла выделяется x моль меди.

Изменение первой пластинки составляет

$$\Delta m_1 = m(\text{Cu}) - m(M) = 63,5x - Mx = x(63,5 - M),$$

тогда как изменение второй равно:

$$\Delta m_2 = m(\text{Ag}) - m(M) = 2x \cdot 108 - xM = x(216 - M).$$

Изменение первой пластинки составляет 0,8 % от массы начальной пластинки, т. е.

$$\frac{\Delta m_1}{M} = \frac{x(63,5 - M)}{M} = 0,008, \quad (***)$$

а второй — 16 %, т. е.

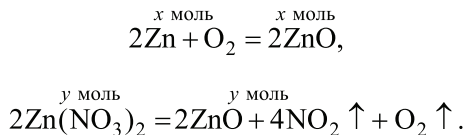
$$\frac{\Delta m_2}{M} = \frac{x(216 - M)}{M} = 0,16. \quad (****)$$

Разделим уравнение (****) на уравнение (***) и получим

$$\frac{63,5 - M}{216 - M} = \frac{0,008}{0,16} \Rightarrow M \approx 56 - \text{Fe}.$$

Ответ: железо.

43. Напишем уравнения реакций, происходящих при прокалики смеси цинка и нитрата:



Пусть x — количество вещества цинка и y — количество вещества нитрата. Тогда масса продуктов до прокалки равна:

$$m_{\text{дл}} = m(\text{Zn}) + m(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = M(\text{Zn}) \cdot \nu(\text{Zn}) + \\ + M(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) \cdot \nu(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = 65x + 189y.$$

Аналогично рассчитываем массу продуктов после прокалки:

$$m_{\text{после}} = m(\text{ZnO}) = M(\text{ZnO}) \cdot \nu(\text{ZnO}) = 81(x + y).$$

По условию задачи масса твердого остатка не изменилась в процессе прокалки, значит,

$$m_{\text{до}} = m_{\text{после}} \Rightarrow 65x + 189y = 81x + 81y \Rightarrow x = 6,75y.$$

Определим массу цинка в начальной смеси:

$$\omega(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{m(\text{смеси})} = \frac{65x}{65x + 189y} = \frac{65 \cdot 6,75y}{65 \cdot 6,75y + 189y} = 0,699 \text{ (69,9 \%)}.$$

Масса нитрата равна:

$$\omega(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = 1 - \omega(\text{Zn}) = 1 - 0,699 = 0,301 \text{ (30,1 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = 30,1 \%$, $\omega(\text{Zn}) = 69,9 \%$.

44. Пусть имеется спирт с формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CH}_2\text{OH}$. Окисление этого спирта приводит к образованию альдегида с формулой $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CHO}$ и кислоты $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}$. Полагая, что количество атомов углерода в спирте, не изменяющих степень окисления, равно n , рассчитаем молярные массы спирта, альдегида и кислоты:

$$M(\text{спирт}) = 12n + 2n + 1 + 12 + 2 + 16 + 1 = 14n + 32;$$

$$M(\text{альдегид}) = 12n + 2n + 1 + 12 + 16 + 1 = 14n + 30;$$

$$M(\text{кислота}) = 12n + 2n + 1 + 12 + 16 + 16 + 1 = 14n + 46.$$

Составим уравнение, удовлетворяющее первому условию задачи, полагая, что количество вещества спирта равно x , альдегида — $3x$, кислоты — x моль (по условию):

$$m(\text{спирт}) + m(\text{альдегид}) + m(\text{кислота}) = 77,0,$$

$$M(\text{спирт})m(\text{спирт}) + M(\text{альдегид})m(\text{альдегид}) + \\ + M(\text{кислота})m(\text{кислота}) = 77,0,$$

$$(14n + 32)x + (14n + 30) \cdot 3 \cdot x + (14n + 46) \cdot x = 77,0. \quad (*)$$

При добавлении гидрокарбоната выделяется газ — это CO_2 .
А с гидрокарбонатом реагирует только кислота:



Из x моль кислоты выделяется x моль газа, следовательно:

$$x = v(\text{кислота}) = v(\text{газа}) = \frac{V}{V_M} = \frac{5,6}{22,4} = 0,25 \text{ моль}.$$

Подставляя найденное значение x в уравнение (*), находим, что $n = 2$. Следовательно, неизвестный спирт — пропиловый, альдегид — пропаналь, а кислота — пропановая. Найдем массовые доли спирта и альдегида в смеси, а массовую долю кислоты найдем как разность между 1 и массовыми долями спирта и альдегида:

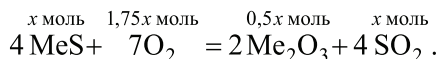
$$\omega(\text{спирт}) = \frac{m(\text{спирт})}{m(\text{смеси})} = \frac{M(\text{спирт})v(\text{спирт})}{m(\text{смеси})} = \\ = \frac{(14 \cdot 2 + 32)0,25}{77,0} = 0,1948 \text{ (19,48 \%)};$$

$$\omega(\text{альдегид}) = \frac{m(\text{альдегид})}{m(\text{смеси})} = \\ = \frac{M(\text{альдегид})v(\text{альдегид})}{m(\text{смеси})} = \frac{(14 \cdot 2 + 30) \cdot 3 \cdot 0,25}{77,0} = 0,5649 \text{ (56,49 \%)};$$

$$\omega(\text{кислота}) = 1 - \omega(\text{спирт}) - \omega(\text{альдегид}) = 0,2403 \text{ (24,03 \%)}.$$

Ответ: $\omega(\text{пропилового спирта}) = 19,48 \%$, $\omega(\text{пропаналя}) = 56,49 \%$, $\omega(\text{пропановой кислоты}) = 24,03 \%$.

45. Имеем неизвестный сульфид MeS . Пусть молярная масса неизвестного металла равна M г/моль, а количество вещества сульфида — x моль. Запишем уравнение реакции окисления сульфида, при этом учтем, что при окислении элемент, обладающий несколькими степенями окисления, как правило, переходит в высшую степень окисления, а сульфид-ион окисляется до оксида серы (IV):



Вначале замкнутый реактор содержал 0,45 моль кислорода, а после окисления в газовой атмосфере содержится

$$0,45 - 1,75x + x = 0,45 - 0,75x \text{ моль газов.}$$

Давление в реакторе пропорционально количеству вещества. Уменьшение давления связано с уменьшением количества газов при окислении:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\sum v_{\text{до}}}{\sum v_{\text{после}}} = \frac{v_1(\text{O}_2)}{v_2(\text{O}_2) + v(\text{SO}_2)} = \frac{0,45}{0,45 - 0,75x} = 1,5 \Rightarrow x = 0,2 \text{ моль.}$$

Найдем неизвестный металл по известной массе сульфида:

$$v(\text{MeS}) = \frac{m(\text{MeS})}{M(\text{MeS})} = \frac{16,8}{M + 32} = 0,2 \Rightarrow M = 52.$$

Такой молярной массой обладает хром. Таким образом, при окислении образовались оксиды Cr_2O_3 и SO_2 .

Ответ: оксид хрома (III) и оксид серы (IV).

46. Решение такого типа задач является достаточно трудным. Для того чтобы прийти к нужному результату, необходимо ввести новую переменную, не оговоренную в задаче. Переменными в данной задаче будут являться не только количество веществ, но и масса веществ.

Проанализируем первое предложение задачи. В тексте не указывается, какая масса раствора азотной кислоты была взята, а также какая масса соли содержалась в растворе. Имея в распоряжении только концентрацию раствора, введем новые переменные:

$x = m(\text{соли})$, $y = m(\text{воды})$, тогда, учитывая, что масса раствора равна массе растворенного вещества и массе воды, получаем

$$\omega = \frac{m(\text{HNO}_3)}{m(\text{HNO}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{x}{x + y} = 0,53.$$

Все дальнейшие вычисления будем приводить к тому, чтобы переменные выражались через x :

$$x = 0,53x + 0,53y \Rightarrow y = \frac{0,53}{1 - 0,53}x = 0,887x. \quad (*)$$

Выражение (*) не указывает точную массу воды и кислоты в растворе, но показывает их соотношение.

В кислоте растворили серебро. Напишем уравнение реакции процесса:



Введем параметр n , который указывает, какое количество серебра было растворено в растворе. Пусть в растворе растворили n моль серебра, тогда азотной кислоты израсходовалось в два раза больше, при этом образовалось n моль нитрата серебра и выделилось n моль оксида азота (IV).

Рассчитаем массу азотной кислоты, оставшуюся в растворе после реакции:

$$m' = m(\text{HNO}_3) - m'(\text{HNO}_3) = x - 2 \cdot 63 \cdot n.$$

Рассчитаем массу образовавшегося раствора, при этом учтем массу добавленного серебра и массу выделившегося газа:

$$\begin{aligned} m'(\text{раствора}) &= m(\text{HNO}_3) + m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{Ag}) - m(\text{NO}_2) = \\ &= x + y + 108n - 46n = x + y + 62n. \end{aligned}$$

Теперь рассчитываем массовую долю кислоты после растворения серебра:

$$\omega' = \frac{m'}{m'(\text{раствора})} = \frac{x - 126n}{x + y + 62n} = 0,46. \quad (**)$$

Зная, что $y = 0,877x$, выразим n через x :

$$\begin{aligned}x - 126n &= 0,46x + 0,46y + 62 \cdot 0,46n, \\x - 126n &= 0,46x + 0,46 \cdot 0,887x + 62 \cdot 0,46n, \\n &= 8,54 \cdot 10^{-4}x.\end{aligned}$$

Теперь проведем вычисления для меди, введя параметр m (количество вещества меди, вступившей в реакцию):



Масса кислоты после растворения меди:

$$\begin{aligned}m'' &= m(\text{HNO}_3) - m'(\text{HNO}_3) - m''(\text{HNO}_3) = \\&= x - 2 \cdot 63 \cdot n - 4 \cdot 63 \cdot m = x - 126n - 252m.\end{aligned}$$

Масса полученного раствора:

$$\begin{aligned}m''(\text{раствора}) &= m'(\text{раствора}) + m(\text{Cu}) - m(\text{NO}_2) = \\&= x + y + 62n + 64m - 2 \cdot 46m = x + y + 62n - 28m.\end{aligned}$$

Массовая доля кислоты в конечном растворе равна:

$$\omega'' = \frac{m''}{m''(\text{раствора})} = \frac{x - 126n - 252m}{x + y + 62n - 28m} = 0,39.$$

Выразим m через x , заменяя n на x и y на x :

$$\begin{aligned}x - 126n - 252m &= 0,39x + 0,39y + 62n - 28m, \\x - 126 \cdot 8,54 \cdot 10^{-4}x - 252m &= 0,39x + \\+ 0,39 \cdot 0,887x + 62 \cdot 8,54 \cdot 10^{-4}x - 28m, \\m &= 5,63 \cdot 10^{-4}x.\end{aligned}$$

После того как все переменные выразили через x , рассчитаем массовые доли солей в конечном растворе.

Масса нитрата серебра, образовавшегося после растворения серебра в азотной кислоте, равна:

$$m(\text{AgNO}_3) = M(\text{AgNO}_3)v(\text{AgNO}_3) = 170n.$$

Масса нитрата меди равна:

$$m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = M(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 187,5m.$$

Рассчитываем массовую долю солей в конечном растворе, выражая все неизвестные через x и сокращая x :

$$\omega(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{m''(\text{раствора})} = \frac{170n}{x + y + 62n - 28m} = 0,07545 (7,55 \%),$$

$$\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)}{m''(\text{раствора})} = \frac{187,5m}{x + y + 62n - 28m} = 0,0538 (5,38 \%).$$

Точные значения массовых долей солей равны 7,46 % и 5,37 %. Как видно из расчетов, промежуточные вычисления вносят несущественную ошибку в результаты ответа.

Ответ: $\omega(\text{AgNO}_3) = 7,55 \%$, $\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 5,38 \%$.

47. В задаче необходимо найти массовые доли солей в исходной смеси, но общая масса смеси неизвестна. Поэтому при решении введем следующие переменные: x — количество вещества KBr, y — количество вещества KI. Кроме того, введем параметр a — масса смеси. Тогда необходимо найти, чему равны выражения

$$\omega(\text{KI}) = \frac{166y}{a}, \quad \omega(\text{KBr}) = \frac{119x}{a}.$$

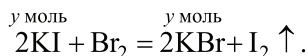
Составим первое уравнение:

$$m(\text{KBr}) + m(\text{KI}) = m_{\text{смеси}},$$

$$M(\text{KBr})v(\text{KBr}) + M(\text{KI})v(\text{KI}) = m_{\text{смеси}},$$

$$119x + 166y = a.$$

После того как через раствор пропустили бром, прошла химическая реакция:



Так как количество образовавшегося бромида калия равно количеству иодида калия, то составим уравнение, введя новый параметр b , означающий уменьшение массы смеси:

$$m(\text{KBr}) + m(\text{KBr})_{\text{после реакц}} = a - b,$$

$$M(\text{KBr})v(\text{KBr}) + M(\text{KBr})_{\text{после реакц}} v(\text{KBr})_{\text{после реакц}} = a - b,$$

$$119x + 119y = a - b. \quad (**)$$

Аналогично записывая реакции, происходящие при пропуске хлора (составьте сами), получим третье уравнение:

$$m(\text{KCl}) + m(\text{KCl}) = a - 2b,$$

$$M(\text{KCl})v(\text{KCl}) + M(\text{KCl})v(\text{KCl}) = a - 2b,$$

$$74,5x + 74,5y = a - 2b. \quad (***)$$

Имеем систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} 119x + 166y = a, \\ 119x + 119y = a - b, \\ 74,5x + 74,5y = a - 2b. \end{cases}$$

Система содержит три уравнения и четыре неизвестные. Это значит, что три неизвестные можно выразить через четвертую.

Разделим 2-е и 3-е уравнения на 119 и 74,5 соответственно. Получим

$$\begin{cases} x + y = \frac{a - b}{119}, \\ x + y = \frac{a - 2b}{74,5}. \end{cases}$$

Откуда

$$\frac{a-b}{119} = \frac{a-2b}{74,5} \Rightarrow a = \frac{163,5}{44,5}b.$$

Теперь вычтем из первого уравнения второе:

$$47y = b \Rightarrow y = \frac{b}{47}.$$

Подставим y и a в первое уравнение системы:

$$119x + \frac{b}{47}166 = \frac{163,5}{44,5}b \Rightarrow x = b \frac{\left(\frac{163,5}{44,5} - \frac{166}{47}\right)}{119} \approx 1,195 \cdot 10^{-3}b.$$

Теперь находим массовые доли бромидов и иодида калия в начальной смеси:

$$\begin{aligned}\omega(\text{KJ}) &= \frac{166y}{a} = \frac{166 \frac{b}{47}}{\frac{163,5}{44,5}b} = 0,9613, \omega(\text{KBr}) = \\ &= \frac{119x}{a} = 119 \frac{0,001195b}{\frac{163,5}{44,5}b} = 0,0387.\end{aligned}$$

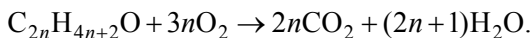
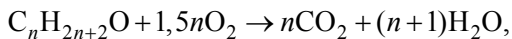
Сумма массовых долей в исходной смеси должна быть равна единице. Проверим это условие:

$$\omega(\text{KJ}) + \omega(\text{KBr}) = 0,9613 + 0,0387 = 1.$$

Так как проверка верна, система решена правильно.

Ответ: $\omega(\text{KJ}) = 96,13 \%$, $\omega(\text{KBr}) = 3,87 \%$.

48. Напишем в условном виде уравнения реакций полного окисления одноатомного спирта и его симметричного эфира, учтя, что одноатомный спирт можно записать как $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$, что равносильно $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$, а симметричный эфир — как $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$, что равносильно $\text{C}_{2n}\text{H}_{4n+2}\text{O}$:



где n — количество атомов углерода в простом спирте. Составим систему уравнений, описывающую начальные и конечные условия. Начальные условия — масса исходной смеси. Так как масса спирта и эфира отдельно не известна, то необходимо вводить новые переменные: пусть x (моль) — количество спирта, y — количество эфира. Конечное условие указывает на то, что в ходе реакции образовалось 12 г воды. Для составления второго уравнения необходимо учитывать коэффициенты при воде в уравнениях реакций. Имеем

$$\begin{cases} m(\text{спирта}) + m(\text{эфира}) = 10, \\ m(H_2O) + m(H_2O) = 12. \end{cases}$$

$$\begin{cases} v(\text{спирта})M(\text{спирта}) + v(\text{эфира})M(\text{эфира}) = 10, \\ v(H_2O)_c M(H_2O) + v(H_2O)_3 M(H_2O) = 12. \end{cases}$$

$$\begin{cases} x(12n + 2n + 2 + 16) + y(2 \cdot 12n + 4n + 2 + 16) = 10, \\ x(n+1) \cdot 18 + y(2n+1) \cdot 18 = 12. \end{cases}$$

$$\begin{cases} x(14n + 18) + y(28n + 18) = 10, \\ x(n+1) \cdot 18 + y(2n+1) \cdot 18 = 12. \end{cases} \quad (*)$$

Система имеет два уравнения и три переменные, это значит, что две неизвестные можно выразить через третью. На первый взгляд может показаться, что систему достаточно легко решить, однако могут возникнуть определенные трудности (попробуйте сами). Данная задача в разделе алгебры является параметрической. При решении такой задачи необходимо выполнить следующее условие: найти такое положительное целое n , при котором x и y больше нуля.

Используем синтетический метод. Допустим, что в начальной смеси нет эфира ($y = 0$), тогда система будет содержать две уравнения и две неизвестные величины:

$$\begin{cases} x(14n+18) = 10, \\ x(n+1) \cdot 18 = 12. \end{cases}$$

Разделим первое уравнения на второе и найдем n :

$$\frac{14n+18}{18(n+1)} = \frac{10}{12} \Rightarrow 14n+18 = 15n+15 \Rightarrow n = 3.$$

Теперь допустим, что в системе нет спирта ($x = 0$ моль), тогда

$$\frac{28n+18}{(2n+1) \cdot 18} = \frac{10}{12} \Rightarrow 28n+18 = 15(2n+1) \Rightarrow n = 1,5.$$

Естественно, что эфир, в котором содержится 1,5 атомов углерода, не существует, но найденные значения необходимы для того, чтобы установить количественный состав смеси. Если чистый спирт содержит в своем составе 3 атома углерода, а чистый эфир — 1,5 атомов, то получается, что смесь содержит спирт, в котором атомов углерода равно 2, т. е. это этиловый спирт, соответственно, эфир — диэтиловый. Тот же результат может быть получен прямым решением системы (*).

Решение системы дает следующие результаты:

$$\begin{aligned} x &= \frac{2n-3}{6n}, \\ y &= -\frac{n-3}{6n}. \end{aligned}$$

По физическому смыслу количество вещества является положительной величиной, т. е.

$$\begin{cases} x = \frac{2n-3}{6n} > 0, \\ y = -\frac{n-3}{6n} > 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2n-3 > 0, \\ 3-n > 0. \end{cases} \Rightarrow 1,5 < n < 3,$$

откуда вытекает, что $n = 2$.

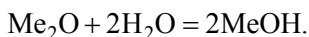
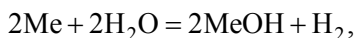
Теперь, подставляя $n = 2$ в систему (*) и решая ее, получаем, что масса спирта равна 3,833 г, масса диэтилового эфира — 6,167 г.

Ответ: $m(\text{этиловый спирт}) = 3,833 \text{ г}$, $m(\text{диэтиловый эфир}) = 6,167 \text{ г}$.

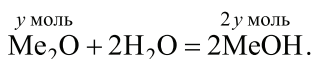
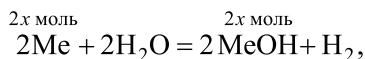
49. Эта задача решается так же, как и предыдущая. Единственное отличие состоит в том, что величина n принимает два целочисленных значения: $n = 5$ и $n = 6$. Соответственно задача будет иметь два решения.

Ответ: $\varphi(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 33,3 \%$ или $\varphi(\text{C}_6\text{H}_{14}) = 83,3 \%$.

50. Напишем уравнения, оговоренные в задаче:



Первый способ. Примем, что молярная масса Me равна M г/моль и количество вещества Me — $2x$ моль, а Me_2O — y моль, тогда



Составим систему уравнений, соответствующую первому и второму условию задачи:

$$\begin{cases} m(\text{Me}) + m(\text{Me}_2\text{O}) = 1,4, \\ m(\text{MeOH}) = 1,79. \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(\text{Me}) \cdot \nu(\text{Me}) + M(\text{Me}_2\text{O}) \cdot \nu(\text{Me}_2\text{O}) = 1,4, \\ M(\text{MeOH}) \cdot \nu(\text{MeOH}) = 1,79. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2Mx + (2M + 16)y = 1,4, \\ 2(M + 17)x + 2(M + 17)y = 1,79. \end{cases} \quad (*)$$

Система имеет три неизвестные и два уравнения. Поэтому выразим x и y через M . Из первого уравнения системы имеем:

$$2Mx + (2M + 16)y = 1,4 \Rightarrow Mx = 0,7 - y(M + 8) \Rightarrow x = \frac{0,7 - My - 8y}{M}. (**)$$

Полученное выражение подставим во второе уравнение системы (*):

$$2(M + 17)x + 2(M + 17)y = 1,79 \Rightarrow 2x + 2y = \frac{1,79}{M + 17},$$

$$2 \frac{0,7 - My - 8y}{M} + 2y = \frac{1,79}{M + 17} \Rightarrow \frac{1,4 - 2My - 16y + 2My}{M} = \frac{1,79}{M + 17} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1,4 - 16y = \frac{1,79M}{M + 17} \Rightarrow y = \frac{23,8 - 0,39M}{16(M + 17)}. (***)$$

Подставим найденное выражение в уравнение (**) и выразим x через M :

$$\begin{aligned} x &= \frac{0,7 - M \frac{23,8 - 0,39M}{16(M + 17)} - 8 \frac{23,8 - 0,39M}{16(M + 17)}}{M} = \\ &= \frac{0,7 \cdot 16(M + 17) - M(23,8 - 0,39M) - 8(23,8 - 0,39M)}{16M(M + 17)} = \\ &= \frac{11,2M + 190,4 - 23,8M + 0,39M^2 - 190,4 + 3,12M}{16M(M + 17)} = \\ &= \frac{0,39M^2 - 9,48M}{16M(M + 17)} \Rightarrow x = \frac{0,39M(M - 24,3)}{16M(M + 17)}. (****) \end{aligned}$$

Поскольку количество вещества (x и y) является положительной величиной, имеем

$$\begin{cases} x > 0, \\ y > 0. \end{cases}$$

Подставим в последнюю систему уравнения (***) и (****) и учтем, что молярная масса (M) неизвестного металла является положительной величиной:

$$\left\{ \begin{array}{l} x > 0, \\ y > 0, \\ M > 0. \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,39M(M-24,3)}{16M(M+17)} > 0, \\ \frac{23,8-0,39M}{16(M+17)} > 0, \\ M > 0. \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} M \in (-17; 0) \cup (24,3; +\infty), \\ M \in (-17; 61), \\ M > 0. \end{array} \right.$$

Общим решением системы неравенств является $24,3 < M < 61,0$. Этому условию удовлетворяет только калий ($Me = K, M = 39$). Подставим найденное M в уравнения (***) и (****):

$$x = \frac{0,39M(M-24,3)}{16M(M+17)} = \frac{0,39 \cdot 39(39-24,3)}{16 \cdot 39 \cdot (39+17)} \approx 0,0064 \text{ моль.}$$

$$y = \frac{23,8-0,39M}{16(M+17)} = \frac{23,8-0,39 \cdot 39}{16(39+17)} \approx 0,0096 \text{ моль.}$$

Проверим верность решения. По условию задачи масса смеси равна 1,4 г, т. е.

$$m(K) + m(K_2O) = 1,4 \Rightarrow v(K) \cdot M(K) + v(K_2O) \cdot M(K_2O) = 1,4,$$

$$2x \cdot 39 + y \cdot (2 \cdot 39 + 16) = 1,4,$$

$$78 \cdot 0,0064 + 94 \cdot 0,0096 = 1,4,$$

$$1,4016 \approx 1,4, \text{ верно.}$$

Определим массовую долю калия в смеси с оксидом калия:

$$\begin{aligned} \omega(K) &= \frac{m(K)}{m(K) + m(K_2O)} = \frac{v(K) \cdot M(K)}{m(K) + m(K_2O)} = \\ &= \frac{2x \cdot 39}{1,4} = \frac{2 \cdot 0,0064 \cdot 39}{1,4} = 0,357 \text{ (35,7 \%)}. \end{aligned}$$

Второй способ. Данную задачу можно решить по-другому, если в качестве неизвестных взять массу металла (x г) и его молярную массу (M г/моль). Запишем первое условие задачи, выразив массу оксида металла через массу металла (x г) и массу их смеси (1,4 г):

$$m(\text{Me}) + m(\text{Me}_2\text{O}) = 1,4 \Rightarrow m(\text{Me}_2\text{O}) = 1,4 - x.$$

Определим количество вещества металла и его оксида:

$$\nu(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})} = \frac{x}{M}, \quad \nu(\text{Me}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Me}_2\text{O})}{M(\text{Me}_2\text{O})} = \frac{1,4 - x}{2M + 16}.$$

Теперь рассчитаем количество вещества и массу образовавшейся щелочи по уравнениям реакций:

$$\nu(\text{MeOH}) = \frac{x}{M} + 2 \frac{1,4 - x}{2M + 16}.$$

$$m(\text{MeOH}) = M(\text{MeOH}) \cdot \nu(\text{MeOH}) = (M + 17) \cdot \left[\frac{x}{M} + 2 \frac{1,4 - x}{2M + 16} \right].$$

По условию задачи масса щелочи равна 1,79 г, тогда

$$m(\text{MeOH}) = (M + 17) \cdot \left[\frac{x}{M} + 2 \frac{1,4 - x}{2M + 16} \right] = 1,79.$$

Выражая из этого уравнения x , получим

$$x = \frac{0,39M(M - 24,3)}{8(M + 17)}. \quad (*****)$$

Определим M , полагая, что масса металла — положительная величина, но не превышает 1,4 г (поскольку в смеси присутствует еще оксид):

$$0 < x < 1,4 \Rightarrow \frac{0,39M(M - 24,3)}{8(M + 17)} > 0 \quad \text{и} \quad \frac{0,39M(M - 24,3)}{8(M + 17)} < 1,4.$$

Решение этих двух неравенств приводит к $24,3 < M < 61,0$, т. е. неизвестный металл — К, а $M = 39$ г/моль.

Подставим $M = 39$ в уравнение (*****) и найдем x :

$$x = \frac{0,39 \cdot 39(39 - 24,3)}{8(39 + 17)} \approx 0,5 \text{ г.}$$

Массовая доля К в его смеси с K_2O равна:

$$\omega(K) = \frac{m(K)}{m(K) + m(K_2O)} = \frac{0,5}{1,4} = 0,357 \text{ (35,7 \%)}.$$

Ответ: $\omega(K) = 35,7\%$.

Отметим, что первый способ является более правильным, поскольку он позволяет вычислить требуемые величины и сделать проверку, показывающую корректность вычислений. При применении второго способа существует вероятность сделать ошибку при невнимательном выводе уравнений и неравенств. Кроме того, для второго способа часть операций сознательно опущена. Например, решение неравенства $\frac{0,39M(M - 24,3)}{8(M + 17)} < 1,4$ может доставить определенные трудности, поскольку необходимо сначала раскрыть скобки, перенести все члены неравенства в одну часть, а потом квадратный многочлен представить вновь в виде произведения $(ax + b)(cx + d) < 0$. В целом объем рассуждений по первому и второму способу примерно одинаков. Эта задача интересна тем, что она является комплексной, для ее решения необходимо: 1) ввести требуемые параметры или искомые величины; 2) решить систему уравнений; 3) проанализировать квадратное уравнение и 4) решить неравенства.

Третий способ является самым простым и состоит в рассмотрении предельных случаев. За основу можно взять систему уравнений (*), полученную в первом способе.

$$\begin{cases} 2Mx + (2M + 16)y = 1,4, \\ 2(M + 17)x + 2(M + 17)y = 1,79. \end{cases}$$

Пусть $x = 0$ моль (т. е. в смеси отсутствует металл), тогда эта система приобретает вид:

$$\begin{cases} (2M + 16)y = 1,4, \\ 2(M + 17)y = 1,79. \end{cases}$$

Она содержит два уравнения и две неизвестные величины. Решая ее, получаем, что $M = 24,3$ г/моль.

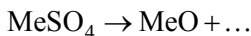
Теперь, полагая, что $y = 0$ (в смеси отсутствует оксид), получим

$$\begin{cases} 2Mx = 1,4, \\ 2(M + 17)x = 1,79. \end{cases}$$

Решение этой системы дает, что $M = 61$ г/моль. Поскольку при переходе от чистого металла к чистому оксиду молярная масса Me изменяется с 24,3 до 61 г/моль, то в смеси присутствует щелочно-земельный металл с промежуточной молярной массой. Единственное решение — это калий. Далее необходимо $M = 39$ подставить в систему (*) и решить ее, после чего определить массовую долю металла в смеси.

Несмотря на то, что 3-й способ является наиболее простым, его использование следует сопровождать хорошим обоснованием.

51. Условие данной задачи является неполным. В нем требуется найти неизвестный металл. Обозначим молярную массу оксида металла MeO за a г/моль, тогда молярная масса металла будет равна $(a - 16)$ г/моль, а молярная масса сульфата — $(a + 80)$ г/моль. Запишем краткое уравнение реакции, описывающее получение оксида из сульфата:



Из уравнения видно, что

$$\nu(MeSO_4) = \nu(MeO).$$

Это равенство соответствует

$$\frac{m(\text{MeSO}_4)}{M(\text{MeSO}_4)} = \frac{m(\text{MeO})}{M(\text{MeO})}. \quad (*)$$

По условию задачи количество исходного сульфата равно 1 моль, а масса получившегося оксида — x г. Подставим известные значения:

$$1 = \frac{x}{a} \Rightarrow x = a. \quad (**)$$

Таким образом, мы получили, что масса оксида численно равна молярной массе этого же оксида. Если бы мы условились обозначать символом a молярную массу металла Me , то к такому выводу мы не пришли. Теперь, используя формулу (*) и анализируя второе предложение задачи, получим

$$\frac{x}{a+80} = \frac{y}{a}.$$

Произведем замену параметра a на x , согласно (**):

$$\frac{x}{x+80} = \frac{y}{x}. \quad (***)$$

Последний раз используя формулу (*) и принимая во внимание условие третьего предложения, получим

$$\frac{y}{x+80} = \frac{20^{(**)}}{a} \Rightarrow \frac{y}{x+80} = \frac{20}{x}. \quad (****)$$

Нами выведено два уравнения, содержащие две неизвестные величины. Соберем уравнения (***) и (****) в систему и решим ее:

$$\begin{cases} \frac{x}{x+80} = \frac{y}{x}, \\ \frac{y}{x+80} = \frac{20}{x}. \end{cases}$$

Один из способов решения данной системы следующий.

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{\frac{x}{x+80}}{\frac{y}{x+80}} = \frac{\frac{y}{20}}{\frac{x}{20}} \Rightarrow \frac{x}{y} = \frac{y}{20}.$$

Выразим x через y :

$$\frac{x}{y} = \frac{y}{20} \Rightarrow x = \frac{y^2}{20}.$$

Подставим это выражение в любое уравнение системы (в данном случае во второе, так как оно проще):

$$\frac{y}{x+80} = \frac{20}{x},$$

$$\frac{y}{\frac{y^2}{20} + 80} = \frac{20}{\frac{y^2}{20}} \Rightarrow \frac{y}{y^2 + 1600} = \frac{20}{y^2}.$$

Выведем уравнение из полученного равенства:

$$y \cdot y^2 = 20 \cdot (y^2 + 1600) \Rightarrow y^3 - 20y^2 - 32000 = 0.$$

Нами получено кубическое уравнение. Решим его методом подбора. Заметим, что свободный член уравнения является числом, кратным 10, 100 и 1000. Это наводит на мысль о том, что один из корней уравнения также должен быть кратен 10.

Предположим, что $y = 10$, тогда

$$10^3 - 20 \cdot 10^2 - 32000 = -33000 < 0 \text{ не подходит.}$$

Если $y = 20$, то

$$20^3 - 20 \cdot 20^2 - 32000 = -32000 < 0 \text{ — не подходит.}$$

Если $y = 30$, то $30^3 - 20 \cdot 30^2 - 32000 = -23000 < 0$ — не подходит.

Если $y = 40$, то $40^3 - 20 \cdot 40^2 - 32000 = 0$ — подходит.

Для нахождения остальных корней уравнения разделим кубическое уравнение на $(y - 40)$. Результаты деления приводят к выражению $y^2 + 20y + 800$. Далее разложим кубическое уравнение на множители и получим $(y - 40) \cdot (y^2 + 20y + 800) = 0$.

Определим остальные корни кубического уравнения, приравняв второй множитель к нулю и решая его как квадратное уравнение:

$$y^2 + 20y + 800 = 0.$$

$$y_{1,2} = -10 \pm \sqrt{10^2 - 800}.$$

Видно, что дискриминант этого квадратного уравнения отрицателен, следовательно, оно не имеет вещественных корней. Единственное решение — $y = 40$.

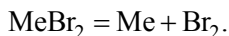
Найдем теперь молярную массу неизвестного оксида металла:

$$a = x = \frac{y^2}{20} = \frac{40^2}{20} = 80.$$

Молярная масса металла равна: $(80 - 16) = 64$ г/моль. Металл, обладающий близкой молярной массой, — медь. Следовательно, неизвестный сульфат — сульфат меди.

Ответ: сульфат меди.

52. Задача очень похожа на предыдущую. Однако она имеет более простое решение. Пусть молярная масса неизвестного металла Me равна M г/моль, тогда запишем реакцию электролиза расплава MeBr_2 :



На катоде осаждается металл, а на аноде — выделяется молекулярный бром. Так как из 1 моль бромида получается 1 моль металла (согласно стехиометрическим коэффициентам реакции), то

$$\nu(\text{MeBr}_2) = \nu(\text{Me}),$$

$$\nu(\text{MeBr}_2) = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})}. \quad (*)$$

Подставим все известные величины в это уравнение:

$$10 = \frac{x}{M}. \quad (**)$$

Используем уравнение (*) для второго условия задачи:

$$v(\text{MeBr}_2) = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})} \Rightarrow \frac{m(\text{MeBr}_2)}{M(\text{MeBr}_2)} = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})},$$

подставим все известные данные:

$$\frac{x}{M + 80 \cdot 2} = \frac{y}{M} \Rightarrow \frac{x}{M + 160} = \frac{y}{M}. \quad (***)$$

Наконец, используем уравнение (*) для третьего условия задачи:

$$\frac{m(\text{MeBr}_2)}{M(\text{MeBr}_2)} = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})} \Rightarrow \frac{y}{M + 160} = 0,4. \quad (****)$$

Соберем уравнения (**), (***) и (****) в систему и решим ее.

$$\begin{cases} \frac{x}{M} = 10, \\ \frac{x}{M + 160} = \frac{y}{M}, \\ \frac{y}{M + 160} = 0,4. \end{cases}$$

Из первого и третьего уравнений системы выразим x и y через M и подставим найденные выражения во второе уравнение:

$$10 = \frac{x}{M} \Rightarrow x = 10M,$$

$$\frac{y}{M + 160} = 0,4 \Rightarrow y = 0,4(M + 160),$$

$$\frac{x}{M + 160} = \frac{y}{M} \Rightarrow \frac{10M}{M + 160} = \frac{0,4(M + 160)}{M} \Rightarrow \frac{M^2}{(M + 160)^2} = 0,04.$$

Для определения M необязательно раскрывать скобки, так как стоит заметить, что в левой и правой части уравнения образовались квадраты выражений:

$$\left(\frac{M}{M+160}\right)^2 = 0,2^2.$$

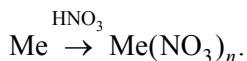
Избавимся от степеней путем возведения обеих частей уравнения в степень $1/2$:

$$\left(\frac{M}{M+160}\right)^2 = 0,2^2 \Rightarrow \frac{M}{M+160} = 0,2 \Rightarrow M = 0,2(M+160) \Rightarrow M = 40.$$

Таким образом, неизвестный металл — кальций, а неизвестный бромид — бромид кальция.

Ответ: CaBr_2 .

53. Пусть молярная масса неизвестного Me — M г/моль, а его степень окисления в нитрате — n моль. Запишем схематически реакцию окисления металла азотной кислотой:



Определим количества веществ металла и его нитрата и приравняем их (согласно стехиометрическим коэффициентам реакции):

$$\nu(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})} = \frac{10}{M},$$

$$\nu(\text{Me}(\text{NO}_3)_n) = \frac{m(\text{Me}(\text{NO}_3)_n)}{M(\text{Me}(\text{NO}_3)_n)} = \frac{M + 51,89}{M + n(14 + 48)} = \frac{M + 51,89}{M + 62n},$$

$$\nu(\text{Me}) = \nu(\text{Me}(\text{NO}_3)_n),$$

$$\frac{10}{M} = \frac{M + 51,89}{M + 62n}.$$

Избавляясь от дробей, получаем квадратное уравнение. Решим его относительно M :

$$M^2 + 41,89M - 620n = 0,$$

$$M_{1,2} = -20,945 \pm \sqrt{20,945^2 + 620n}.$$

Определим неизвестный металл методом перебора, принимая во внимание только положительные значения M :

- при $n = 1$ $M = 4,8$ — элемента с такой молярной массой не существует;
- при $n = 2$ $M = 20$ — элемента с такой молярной массой не существует;
- при $n = 3$ $M = 27$ — это Al, вариант подходит, поскольку этот металл обладает устойчивой степенью окисления +3 в своих соединениях.

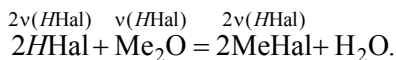
Ответ: $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.

54. Примем величину, которую требуется найти, за x ($\omega(\text{HHal}) = x$). Помимо этого обозначим символом a (г) массу начального раствора, а молярную массу HHal — H . Тогда

$$m(\text{HHal}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{HHal}) = ax \text{ г.}$$

Определим количество вещества кислоты и составим реакцию, описывающую ее взаимодействия с неизвестным оксидом металла Me_2O :

$$\nu(\text{HHal}) = \frac{m(\text{HHal})}{M(\text{HHal})} = \frac{ax}{1 + H}.$$



Для того чтобы найти массовую долю неизвестной соли в конечном растворе, необходимо найти массу MeHal и массу раствора, которая увеличивается при добавлении Me_2O . Примем, что молярная масса Me равна M , и рассчитаем массы оксида и соли:

$$\nu(\text{MeHal}) = \nu(\text{HHal}) = \frac{ax}{1 + H} \text{ моль,}$$

$$m(\text{MeHal}) = \nu(\text{HHal}) \cdot M(\text{MeHal}) = \frac{ax}{1+H} \cdot (M+H) \text{ г.}$$

$$\begin{aligned} m(\text{Me}_2\text{O}) &= \frac{1}{2} \nu(\text{HHal}) \cdot M(\text{Me}_2\text{O}) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{ax}{1+H} \cdot (2M+16) = \frac{ax}{1+H} (M+8) \text{ г.} \end{aligned}$$

Масса конечного раствора равна:

$$m_{\text{к}}(\text{раствора}) = m_{\text{н}}(\text{раствора}) + m(\text{Me}_2\text{O}) = a + \frac{ax}{1+H} (M+8), \text{ г.}$$

Тогда массовую долю неизвестной соли можно найти по формуле:

$$\omega(\text{MeHal}) = \frac{m(\text{MeHal})}{m_{\text{к}}(\text{раствора})} = \frac{\frac{ax}{1+H} (M+H)}{a + \frac{ax}{(1+H)} (M+8)}.$$

Преобразуем это выражение:

$$\omega(\text{MeHal}) = \frac{\frac{ax}{1+H} (M+H)}{a + \frac{ax}{(1+H)} (M+8)} = \frac{\frac{x}{1+H} (M+H)}{1 + \frac{x}{(1+H)} (M+8)} = \frac{x(M+H)}{1+H+x(M+8)}.$$

Здесь проведено два сокращения числителя и знаменателя дроби: сначала на $a \neq 0$, а потом на $1/(H+1) \neq 0$.

По условию задачи массовая доля соли в конечном растворе равна массовой доле кислоты в начальном растворе, т. е.

$$\omega(\text{MeHal}) = \omega(\text{HHal}),$$

$$\begin{aligned} \frac{x(M+H)}{1+H+x(M+8)} &= x \Rightarrow \frac{(M+H)}{1+H+x(M+8)} = \\ &= 1 \Rightarrow M+H = 1+H+Mx+8x \Rightarrow x = \frac{M-1}{M+8}. \end{aligned}$$

Целесообразно продолжить решение задачи методом подбора, т. е. путем варьирования молярной массы неизвестного щелочного металла:

- если Me — Li, то $M = 8$, а $x = 6/15 = 0,40$ (40 %);
- если Me — Na, то $M = 23$, а $x = 22/31 = 0,7090$ (70,9 %);
- если Me — K, то $M = 39$, а $x = 38/47 = 0,8090$ (80,9 %).

Для выбора верного решения требуются теоретические знания. В случае Li_2O массовая доля кислоты и галогенида лития составляет 40 %. Этим условиям удовлетворяют HCl , HBr и HI , поскольку их максимальная массовая доля в воде (при н. у.) составляет примерно 42, 69 и 57 %, а их солей — 45, 59 и 60 % соответственно. Фтороводородная кислота не подходит, так как LiF обладает сравнительно низкой растворимостью и выпадает в осадок. По тем же причинам можно отбросить Na_2O и K_2O , поскольку для них массовая доля кислоты становится равной приблизительно 71 % и 81 %, что недостижимо для соляной, бромной и иодоводородной кислот и соответствующих солей.

Ответ: $\omega(\text{HHal}) = 40\%$, возможные варианты соли: LiCl , LiBr или LiI .

55. Введем следующие переменные: x — масса первого раствора, y — масса второго раствора и z — массовая доля воды в конечном растворе. Определим массу воды в первом и втором растворе:

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = m_1(\text{раствора}) \cdot \omega_1(\text{H}_2\text{O}) = 0,88x,$$

$$m_2(\text{H}_2\text{O}) = m_2(\text{раствора}) \cdot \omega_2(\text{H}_2\text{O}) = 0,70y.$$

Определим массу воды в конечном растворе, полагая, что масса раствора равна $x + y$, а массовая доля воды — z :

$$m_{\text{к}}(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{к}}(\text{раствора}) \cdot \omega_{\text{к}}(\text{H}_2\text{O}) = (x + y) \cdot z.$$

Теперь можно составить баланс по воде:

$$\begin{aligned} m_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2(\text{H}_2\text{O}) &= m_{\text{к}}(\text{H}_2\text{O}), \\ 0,88x + 0,70y &= (x + y) \cdot z. \end{aligned}$$

Выразим z через массу начальных растворов:

$$z = \frac{0,88x + 0,70y}{x + y}.$$

Избавимся от неизвестной величины y второго слагаемого числителя дроби. Для этого представим $0,88x$ как сумму $0,18x$ и $0,70x$:

$$\begin{aligned} z &= \frac{0,88x + 0,70y}{x + y} = \frac{0,18x + 0,70x + 0,70y}{x + y} = \\ &= \frac{0,18x + 0,70(x + y)}{x + y} = 0,18 \frac{x}{x + y} + 0,7. \end{aligned}$$

Определим, в каких пределах может находиться значение дроби $x/(x + y)$ из условия задачи. Первое условие соответствует неравенству $x > y$. Тогда значение дроби $x/(x + y)$ должно превышать $0,5$:

$$z = 0,18 \frac{x}{x + y} + 0,7; \quad z > 0,18 \cdot 0,5 + 0,7; \quad z > 0,79 \text{ (79 \%)}.$$

Из второго условия вытекает, что масса растворенного вещества (р. в.) второго раствора больше, чем первого:

$$m_2(\text{р. в.}) > m_1(\text{р. в.}),$$

$$m_2(\text{раствора}) \cdot (1 - \omega_2(\text{H}_2\text{O})) > m_1(\text{раствора}) \cdot (1 - \omega_1(\text{H}_2\text{O})),$$

$$y \cdot (1 - 0,70) > x \cdot (1 - 0,88) \Rightarrow y > 0,4x.$$

Подставляя крайнее значение $y = 0,4x$, получим, что дробь $x/(x + y)$ равна: $1/(1 + 0,4) = 0,714$. Возвращаясь к неравенству, получаем, что дробь не может превышать этого значения. Тогда

$$z = 0,18 \frac{x}{x + y} + 0,7; \quad z < 0,18 \cdot 0,714 + 0,7; \quad z < 0,829 \text{ (82,9 \%)}.$$

Таким образом, концентрация соли в конечном растворе может составлять от 79,0 до 82,9 %.

Ответ: $79,0 \% < \omega(\text{H}_2\text{O}) < 82,9 \%$.

56. Задачи на растворимость проще всего решать по балансу основного вещества. Выпадение соли происходит при достижении условия насыщенности раствора, что соответствует максимально возможной массовой доли соли. Поскольку из начального раствора не выпадало никаких осадков, то массовая доля соли в нем ниже, чем в насыщенном. Пусть x — массовая доля соли в начальном растворе, а y — массовая доля этой же соли в насыщенном. Очевидно, что $y > x$. Введем еще одну переменную — массу начального раствора m . Тогда в начальном растворе содержится соль массой:

$$m_1(\text{соли}) = m_1(\text{раствора}) \cdot \omega_1(\text{соли}) = mx.$$

После выпарки воды и выпадения осадка масса второго раствора уменьшилась на $(56 + 4)$ г, поэтому масса соли в конечном (насыщенном) растворе была равна:

$$m_2(\text{соли}) = m_2(\text{раствора}) \cdot \omega_2(\text{соли}),$$

$$\begin{aligned} m_2(\text{соли}) &= (m_1(\text{раствора}) - m_1(\text{H}_2\text{O}) - m_1(\text{осадка})) \cdot \omega_2(\text{соли}) = \\ &= (m - 56 - 4)y. \end{aligned}$$

После первой выпарки баланс по соли имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} m_1(\text{соли}) &= m_2(\text{соли}) + m_1(\text{осадка}), \\ mx &= (m - 60)y + 4. \end{aligned} \quad (*)$$

После последующего удаления воды массой 37 г из насыщенного раствора выпадает еще 3 г соли, при этом конечный раствор также является насыщенным. Масса соли в конечном растворе равна:

$$\begin{aligned} m_3(\text{соли}) &= (m_1(\text{раствора}) - 60 - m_2(\text{H}_2\text{O}) - m_2(\text{осадка})) \cdot \omega_3(\text{соли}) = \\ &= (m - 60 - 37 - 3)y. \end{aligned}$$

Тогда составим второй баланс по соли:

$$\begin{aligned} m_2(\text{соли}) &= m_3(\text{соли}) + m_2(\text{осадка}), \\ (m - 60)y &= (m - 100)y + 3. \end{aligned} \quad (**)$$

Соберем уравнения (*) и (**) в систему:

$$\begin{cases} mx = (m - 60)y + 4, \\ (m - 60)y = (m - 100)y + 3, \end{cases}$$

и решим ее относительно x и y . Из второго уравнения этой системы имеем

$$(m - 60)y = (m - 100)y + 3 \Rightarrow 40y = 3 \Rightarrow y = 0,075.$$

Это означает, что массовая доля соли в насыщенном растворе равна 7,5 %. Подставим найденное значение в первое уравнение системы и выразим x :

$$mx = (m - 60) \cdot 0,075 + 4 \Rightarrow x = \frac{0,075m - 4,5 + 4}{m} = 0,075 - \frac{0,5}{m}.$$

Это уравнение неопределенное и имеет бесконечное количество решений. Для того чтобы определить массовую долю соли в начальном растворе, необходимо привлечь дополнительные данные. Из уравнения (**) можно определить, что выражение $(m - 100)$ должно быть положительной величиной, значит, $m > 100$. Рассматривая систему, получим

$$\begin{cases} x = 0,075 - \frac{0,5}{m}, \Rightarrow x > 0,075 - \frac{0,5}{100} \Rightarrow x > 0,07 (7 \%), \\ m > 100. \end{cases}$$

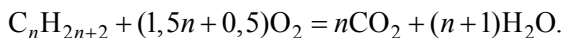
С другой стороны, массовая доля соли в насыщенном растворе больше, чем в исходном, т. е. $y > x$. Рассматривая вторую систему уравнений, определим, что

$$\begin{cases} y = 0,075, \\ y > x. \end{cases} \Rightarrow x < 0,075 (7,5 \%).$$

Таким образом, массовая доля соли в начальном растворе находится в интервале $7 \% < x < 7,5 \%$.

Ответ: $7 \% < \omega(\text{соли}) < 7,5 \%$.

57. Запишем формулу алкана C_nH_{2n+2} и уравнение его сжигания:



Рассчитаем количество углекислого газа по известным данным исходного вещества:

$$v(CO_2) = n \cdot v(C_nH_{2n+2}) = n \cdot \frac{V(C_nH_{2n+2})}{V_M} = n \cdot \frac{0,224}{22,4} = 0,01n \text{ моль. (*)}$$

Очевидно, что полученный при сжигании оксид углерода реагирует с известковой водой. Для начала рассчитаем массу и количество гидроксида кальция. Поскольку концентрация $Ca(OH)_2$ в растворе составляет 0,148 %, то это означает, что раствор является сильно разбавленным и поэтому его плотность можно считать близкой к плотности воды, т. е. 1 г/мл:

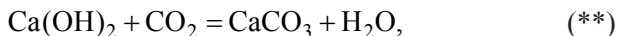
$$\begin{aligned} m(Ca(OH)_2) &= m(\text{раствора}) \cdot \omega(Ca(OH)_2) = \\ &= \rho(\text{раствора}) \cdot V(\text{раствора}) \cdot \omega(Ca(OH)_2), \end{aligned}$$

$$m(Ca(OH)_2) = 1000 \cdot 1 \cdot 0,00148 = 1,48 \text{ г.}$$

$$v(Ca(OH)_2) = \frac{m(Ca(OH)_2)}{M(Ca(OH)_2)} = \frac{1,48}{74} = 0,02 \text{ моль.}$$

По тексту задачи непонятно, что взято в избытке, а что в недостатке. Поэтому рассмотрим два этих варианта. Учтем также, что количество выпавшего осадка ($CaCO_3$) составляет 0,01 моль.

Если гидроксид кальция взят в недостатке, то при его взаимодействии с CO_2 образуется сначала карбонат кальция, а затем гидрокарбонат кальция, который растворим в воде:



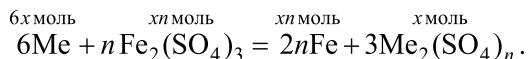
Причем по первой реакции на образование карбоната кальция затрачивается 0,02 моль гидроксида и CO_2 , а по второй реакции на формирование 0,01 гидрокарбоната затрачивается по 0,01 моль карбоната и дополнительного количества CO_2 . Общее количество затраченного вещества CO_2 равно 0,03 моль. Подставляя это выражение в (*), получаем, что $n = 3$ (пропан).

Если гидроксид кальция взят в избытке, то образуется только карбонат кальция по уравнению (**). Для получения 0,01 моль карбоната требуется 0,01 моль CO_2 . Подставляем это значение в (*) и получаем, что $n = 1$ (метан). Таким образом, этой задачи удовлетворяет два решения.

Ответ: CH_4 или C_3H_8 .

58. Данное условие относится к тому пласту задач, в которых возможно также два варианта решения.

1. Если металл обладает большей активностью, чем железо, то в процессе выдерживания пластинки в растворе происходит частичное растворение металла с одновременным осаждением железа на пластинку (например, $\text{FeSO}_4 + \text{Zn} = \text{ZnSO}_4 + \text{Fe}$). Изменение массы пластинки определяется количеством растворенного неизвестного металла и количеством осажденного на нее железа. В этом случае уравнение реакции можно представить следующим образом:



Здесь введены следующие обозначения: молярная масса неизвестного Me равна M , степень окисления металла в нитрате — n , а количество прореагировавшего металла — $6x$ (согласно уравнению реакции). В задаче оговорены лишь два условия — отношение массовых долей солей и масса изменения пластинки. Запишем эти условия:

$$\frac{\omega(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{\omega(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n)} = \frac{M(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n)}{M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}, \quad (*)$$

$$\Delta m_{\text{пластин}} = m(\text{Fe}) - m(\text{Me}). \quad (**)$$

Отношение массовых долей различных соединений в растворе означает такое же отношение их массы:

$$\frac{\omega(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{\omega(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n)} = \frac{m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{m(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n)}.$$

Очевидно, что масса сульфата железа (III) равна:

$$\begin{aligned} m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) &= m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)_{\text{начальн}} - m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)_{\text{прореаг}} = \\ &= m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)_{\text{начальн}} - \nu(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)_{\text{прореаг}} M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)_{\text{прореаг}} = \\ &= 61,61 - 400nx. \end{aligned}$$

Массу полученного сульфата металла, согласно уравнению химической реакции, можно найти как

$$m(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n) = \nu(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n) \cdot M(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n) = 3x(2M + 96n).$$

Подставим эти выражения в уравнение (*) и распишем также молярные массы нитратов в правой части:

$$\frac{61,6 - 400nx}{3x(2M + 96n)} = \frac{2M + 96n}{400}.$$

Остается решить это уравнение относительно x :

$$\frac{61,6 - 400nx}{3x(2M + 96n)} = \frac{2M + 96n}{400} \Rightarrow 61,6 \cdot 400 - 400^2 nx = 3x(M + 96n)^2,$$

$$x[3(2M + 96n)^2 + 400^2 n] = 61,6 \cdot 400 \Rightarrow x =$$

$$= \frac{61,6 \cdot 400}{3(2M + 96n)^2 + 400^2 n}. \quad (***)$$

Заменим массы металлов на их молярные массы и количество вещества в уравнении (**) с учетом стехиометрических коэффициентов реакции:

$$\Delta m_{\text{пластин}} = m(\text{Fe}) - m(\text{Me}) = 4,$$

$$\nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) - \nu(\text{Me}) \cdot M(\text{Me}) = 4,$$

$$2nx \cdot 56 - 6x \cdot M = 4.$$

Подставим x (***) в последнее выражение:

$$2n \cdot 56 \cdot \frac{61,6 \cdot 400}{3(2M + 96n)^2 + 400^2 n} - 6M \frac{61,6 \cdot 400}{3(2M + 96n)^2 + 400^2 n} = 4.$$

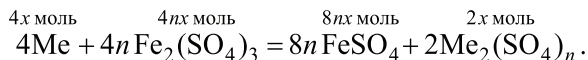
Из полученного равенства можно выразить M через n :

$$M^2 + M(96n + 3080) + 2304n^2 - 44160n = 0,$$

$$M_{1,2} = -48n - 1540 \pm \sqrt{(48n + 1540)^2 - 2304n^2 + 44160n}.$$

Естественно, решение следует искать среди положительных M . Задавая n от 1 до 3, можно убедиться, что единственное верное решение реализуется при $n = 2$, тогда $M = 24$ — Mg.

2. Если металл обладает меньшей активностью, то происходит его растворение (например, $\text{Cu} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = \text{CuSO}_4 + 2\text{FeSO}_4$) в растворе соли 3-валентного железа, тогда изменение массы пластинки будет определяться лишь количеством растворенного металла. Полагая, что молярная масса неизвестного Me равна M , степень окисления металла в нитрате — n , а количество прореагировавшего металла — $4x$, получим



В этом случае имеем

$$\frac{\omega(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{\omega(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n)} = \frac{M(\text{Me}_2(\text{SO}_4)_n)}{M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)},$$

$$\frac{61,6 - 400 \cdot 4nx}{2x(2M + 96n)} = \frac{2M + 96n}{400} \Rightarrow x = \frac{61,6 \cdot 400}{2(2M + 96n)^2 + 4 \cdot 400^2 n}.$$

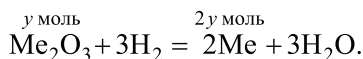
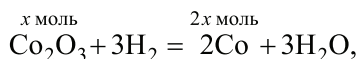
Масса пластинки будет определяться массой металла, вступившего во взаимодействие:

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{пластин}} &= m(\text{Me}) = M(\text{Me}) \cdot \nu(\text{Me}) = 4 \Rightarrow \\ &\Rightarrow 4M \frac{61,6 \cdot 400}{2(2M + 96n)^2 + 4 \cdot 400^2 n} = 4. \end{aligned}$$

Решение последнего уравнения относительно M не дает адекватных значений M при вариации n от 1 до 3. Это означает, что второй вариант не реализуется по условию задачи. Поэтому в раствор была погружена магниевая пластинка.

Ответ: магний.

59. Составим уравнения реакций, оговоренные в задаче:



Здесь использованы следующие обозначения: x — количество оксида трехвалентного железа; y — количество оксида трехвалентного металла; Me — неизвестный металл с молярной массой M . Как и в предыдущих случаях, необходимо составить систему уравнений, описывающую условия задачи:

$$\begin{cases} m(\text{Co}_2\text{O}_3) + m(\text{Co}_2\text{O}_3) = 9,9, \\ m(\text{Co}) + m(\text{Me}) = 7,02. \end{cases}$$

$$\begin{cases} \nu(\text{Co}_2\text{O}_3)M(\text{Co}_2\text{O}_3) + \nu(\text{Me}_2\text{O}_3)M(\text{Me}_2\text{O}_3) = 9,9, \\ \nu(\text{Co})M(\text{Co}) + \nu(\text{Me})M(\text{Me}) = 7,02. \end{cases}$$

$$\begin{cases} x \cdot 166 + y(2M + 48) = 9,9, \\ 2x \cdot 59 + 2yM = 7,02. \end{cases}$$

Система содержит три неизвестных величины и два уравнения. Это означает, что две из них можно выразить через третью. Из первого уравнения системы имеем

$$x \cdot 166 + y(2M + 48) = 9,9 \Rightarrow x = \frac{9,9 - y(2M + 48)}{166}. \quad (*)$$

Подставляем найденное x в другое уравнение системы:

$$\begin{aligned} 118x + 2yM = 7,02 \Rightarrow 118 \frac{9,9 - y(2M + 48)}{166} + 2yM = 7,02 \Rightarrow \\ \Rightarrow y = \frac{(7,02 \cdot \frac{166}{118} - 9,9)59}{48 \cdot 59 - 48M} = \frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48M}. \end{aligned} \quad (**)$$

Из уравнения (**) вытекает очень важная особенность: поскольку количество вещества по физическому смыслу не может быть отрицательной величиной, то

$$\frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48M} > 0 \Rightarrow 48 \cdot 59 - 48M > 0 \Rightarrow M < 59. \quad (***)$$

Это значит, что молярная масса неизвестного металла меньше молярной массы кобальта. Подставим найденное выражение (**) в уравнение (*):

$$\begin{aligned} x &= \frac{9,9 - \frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48M}(2M + 48)}{166} = \\ &= \frac{9,9(48 \cdot 59 - 48M) - 1,44(2M + 48)}{166(48 \cdot 59 - 48M)} = \frac{27967,68 - 472,32M}{166(48 \cdot 59 - 48M)}. \end{aligned}$$

Задавая

$$x > 0 \Rightarrow \frac{27967,68 - 472,32M}{166(48 \cdot 59 - 48M)} > 0,$$

получим, что $59 < M, M > 59,21$.

Теперь объединим неравенства в систему:

$$\begin{cases} x > 0, \\ y > 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M < 59, \\ M < 59, M > 59, 21. \end{cases}$$

Общим решением является $M < 59$. Рассмотрим, какие элементы могут подходить. Из 25 элементов, обладающих меньшей молярной массой, чем кобальт, условию задачи соответствуют железо (Fe_2O_3), хром (Cr_2O_3), скандий (Sc_2O_3) и алюминий (Al_2O_3). Однако не все они подходят, так как восстановление оксида скандия водородом практически не реализуется, а алюминий не является $3d$ -элементом. Таким образом, ответом является «хром» или «железо».

Остается определить массовую долю металла в остатке:

$$\omega(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{m(\text{остатка})} = \frac{M(\text{Me}) \cdot \nu(\text{Me})}{m(\text{остатка})} = \frac{M \cdot 2y}{7,02}.$$

Если $M = \text{Cr}$, то

$$y = \frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48M} = \frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48 \cdot 52} \approx 4,285 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

$$\omega(\text{Cr}) = \frac{M(\text{Cr}) \cdot \nu(\text{Cr})}{m(\text{остатка})} = \frac{52 \cdot 2 \cdot 4,285 \cdot 10^{-3}}{7,02} = 0,0635 (6,35 \%).$$

Если $M = \text{Fe}$, то

$$y = \frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48M} = \frac{1,44}{48 \cdot 59 - 48 \cdot 56} = 0,01 \text{ моль.}$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{M(\text{Fe}) \cdot \nu(\text{Fe})}{m(\text{остатка})} = \frac{56 \cdot 2 \cdot 0,01}{7,02} = 0,1595 (15,95 \%).$$

Таким образом, задача имеет два решения.

Ответ: 6,35 %, если $\text{Me} = \text{Cr}$, или 15,95 %, если $\text{Me} = \text{Fe}$.

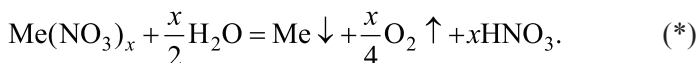
60. Один из способов решения задачи следующий:

Проведем замены: обозначим молярную массу неизвестного металла Me как M , а его степень окисления в нитрате — как x (параметр подбора), тогда химическую формулу исходной соли запишем как $Me(NO_3)_x$.

Для приготовления 8 %-ного раствора этой соли массой 100 г было взято

$$m(Me(NO_3)_x) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(Me(NO_3)_x) = 100 \cdot 0,08 = 8 \text{ г соли.}$$

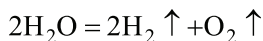
При электролизе на катоде выделяется металл, так как его потенциал положительный, тогда как на аноде выделяется кислород, а в растворе накапливается азотная кислота:



Уменьшение массы раствора связано с осаждением металла на катоде и выделением газа на аноде. Тогда сумма масс металла и кислорода дает уменьшение массы раствора, т. е.

$$m(Me) + m(O_2) = 100 - 57,43 = 42,57 \text{ г.}$$

Очевидно, что такое большое уменьшение массы раствора не могло быть вызвано только электролизом 8 г соли, к тому же в тексте задачи сказано, что в результате электролиза выделилась смесь газов. Значит, после электролиза соли нитрата металла частично разложилась вода по уравнению реакции:



Пусть электролизу подверглось $2z$ моль воды, тогда выделилось $2z$ моль водорода и z моль кислорода. Составим систему уравнений, описывающую условия выделения газов и уменьшения массы раствора. Первое уравнение будет учитывать количество выделившихся газов как при электролизе нитрата металла по уравнению (*), так и при электролизе воды.

По уравнению (*) найдем количество кислорода. По уравнению реакции при электролизе 1 моль нитрата металла выделяется $x/4$ моль кислорода, по условию задачи количество вещества нитрата металла равно:

$$\nu(\text{Me}(\text{NO}_3)_x) = \frac{m(\text{Me}(\text{NO}_3)_x)}{M(\text{Me}(\text{NO}_3)_x)} = \frac{8}{M + x(14 + 16 \cdot 3)} = \frac{8}{M + 62x},$$

тогда по условию задачи количество кислорода равно:

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{8}{M + 62x} \cdot \frac{x}{4}.$$

Количество моль выделившихся газов равно:

$$\nu = \underbrace{\nu(\text{O}_2)}_{\text{при электролизе соли}} + \underbrace{\nu(\text{O}_2) + \nu(\text{H}_2)}_{\text{при электролизе воды}} = \frac{8}{M + 62x} \cdot \frac{x}{4} + z + 2z.$$

С другой стороны, выделилось 69,76 л (н. у.) газов, тогда

$$\nu = \frac{69,76}{22,4} = 3,114 \text{ моль}.$$

Первое уравнение системы будет выглядеть так:

$$\frac{2x}{M + 62x} + 3z = 3,114. \quad (**)$$

Теперь составим второе уравнение системы, в котором учтем уменьшение массы раствора за счет осаждения металла, выделение кислорода при электролизе нитрата, а также разложение воды при последующем электролизе.

По уравнению реакции (*) количество металла, выделившегося на катоде, равно:

$$\nu(\text{Me}) = \nu(\text{Me}(\text{NO}_3)_x) = \frac{8}{M + 62x},$$

тогда его масса равна:

$$m(\text{Me}) = \nu(\text{Me}) \cdot M(\text{Me}) = \frac{8}{M + 62x} \cdot M.$$

Масса выделившегося кислорода при электролизе нитрата равна:

$$m(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = \frac{8}{M + 62x} \cdot \frac{x}{4} \cdot 32 = \frac{64x}{M + 62x}.$$

Масса разложившейся воды при электролизе:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = z \cdot 18 = 18z.$$

Тогда второе уравнение выглядит как

$$m(\text{Me}) + m(\text{O}_2) + m(\text{H}_2\text{O}) = 42,57;$$

$$\frac{8}{M + 62x} \cdot M + \frac{64x}{M + 62x} + 18 \cdot 2z = 42,57. \quad (***)$$

Имеем систему:

$$\begin{cases} \frac{2x}{M + 62x} \cdot + 3z = 3,114, \\ \frac{8}{M + 62x} \cdot M + \frac{64x}{M + 62x} + 36z = 42,57. \end{cases}$$

Решить такую систему не просто, однако возможно. Основная сложность такой задачи заключается в том, что в составленной системе одно уравнение учитывает количество веществ, а другое — их массу. Переход от ν к m одного и того же вещества происходит через молярную массу компонентов, которая выражается через неизвестные M и x .

Решим систему уравнений.

Второе уравнение системы преобразуем к виду

$$\frac{8M + 64x}{M + 62x} + 36z = 42,57.$$

Произведем деление второго уравнения системы на первое:

$$\frac{\frac{8M + 64x}{M + 62x} + 36z}{\frac{2x}{M + 62x} \cdot + 3z} = \frac{42,57}{3,114} = 13,6705.$$

Умножим числитель и знаменатель на $M + 62x$:

$$\frac{8M + 64x + 36z(M + 62x)}{2x \cdot + 3z(M + 62x)} = 13,6705.$$

Из уравнения следует:

$$8M + 64x + 36z(M + 62x) = 13,67052x \cdot + 13,67052 \cdot 3z(M + 62x).$$

Найдем z :

$$z = \frac{8M + 36,659x}{5,0115(M + 62x)}.$$

Подставим z в первое уравнение:

$$\frac{2x}{M + 62x} \cdot + 3 \frac{8M + 36,659x}{5,0115(M + 62x)} = 3,114.$$

Данное уравнение легко решить, умножив левую и правую части уравнения на $(M + 62)$. Приходим к простому выражению:

$$M = 100,5x. \quad (****)$$

Теперь, варьируя x (степень окисления металла в нитрате), найдем M :

- если $x = 1$, то $M = \text{Ar}(\text{Me}) = 100,5$. Рутений не подходит, так как ему не свойственна такая степень окисления;
- если $x = 2$, то $\text{Ar}(\text{Me}) = 201$ — это ртуть. Ртуть подходит, так как ей свойственна такая степень окисления;
- если $n = 3$, то $\text{Ar}(\text{Me}) = 301,5$. Элемента с такой атомной массой не существует.

Таким образом, электролизу подвергался нитрат ртути (II).

Данную задачу можно решить *другим способом*.

Составим систему из четырех уравнений.

Первое уравнение характеризует количество выделившихся газов, при этом оно учитывает как выделение кислорода при

электролизе соли, так и выделение кислорода и водорода при электролизе воды:

$$\Sigma v = \frac{\Sigma V}{22,4} = v(\text{O}_2) + v(\text{H}_2\text{O}) = 3,114. \quad (1)$$

Второе уравнение описывает математический баланс между количеством электронов, протекающих через анод (выделение кислорода) и катод (выделение металла и водорода):

$$4v(\text{O}_2) = 2v(\text{H}_2\text{O}) + x \cdot v(\text{Me}), \quad (2)$$

где x — степень окисления металла.

Третье уравнение показывает массу уменьшения раствора за счет выделения газов и осаждения на катоде металла:

$$\begin{aligned} 100 - 57,43 &= M(\text{Me}) \cdot v(\text{Me}) + M(\text{O}_2) \cdot v(\text{O}_2) + M(\text{H}_2) \cdot v(\text{H}_2), \\ 42,57 &= M \cdot v(\text{Me}) + 32v(\text{O}_2) + 2v(\text{H}_2). \end{aligned} \quad (3)$$

Наконец, последнее уравнение выражает связь между массой неизвестной соли и ее молярной массой и количеством:

$$\begin{aligned} m(\text{Me}(\text{NO}_3)_n) &= M(\text{Me}(\text{NO}_3)_n) \cdot v(\text{Me}(\text{NO}_3)_n) = \\ &= M(\text{Me}(\text{NO}_3)_n) \cdot v(\text{Me}), \\ 8 &= (M + 62x) \cdot v(\text{Me}). \end{aligned} \quad (4)$$

Имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} v(\text{O}_2) + v(\text{H}_2\text{O}) = 3,114, \\ 4v(\text{O}_2) = 2v(\text{H}_2\text{O}) + x \cdot v(\text{Me}), \\ M \cdot v(\text{Me}) + 32v(\text{O}_2) + 2v(\text{H}_2) = 42,57, \\ (M + 62x) \cdot v(\text{Me}) = 8. \end{cases}$$

Решая относительно M и x эту систему, получим выражение (****).

Ответ: нитрат ртути — $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Альдегид массой 11,6 г нагрели с 44,1 г свежееосажденного гидроксида меди (II). Образовавшийся осадок отделили и нагрели до постоянной массы, которая составила 32,8 г. Определите возможную структурную формулу альдегида. О т в е т: C_2H_5CHO .
2. При взаимодействии 2,03 г смеси щелочного металла и его оксида с разбавленной серной кислотой образовался раствор, содержащий 2,926 г соли. Установите металл и определите его массу в исходной смеси. О т в е т: $m(Rb) = 0,17$ г.
3. При сгорании органического вещества получено 13,44 л углекислого газа (н. у.) и 10,8 г воды. Вещество вступает в реакцию со свежеприготовленным гидроксидом меди (II), но не реагирует с перманганатом калия и бромоводородом. Установите неизвестное вещество. О т в е т: CH_3COOH .
4. К 840 мл водного раствора нитрата серебра (концентрация 0,5 моль/л) добавили 25 г смеси хлоридов натрия и калия. Осадок отфильтровали, а в раствор опустили медную пластинку. После окончания реакции масса пластинки изменилась на 1,52 г. Рассчитать массовые доли хлоридов в исходной смеси. О т в е т: $\omega(NaCl) = 70,2 \%$, $\omega(KCl) = 29,8 \%$.
5. К 7 %-ному раствору сульфата хрома (III) постепенно добавили равную массу раствора карбоната натрия. Смесь, образовавшуюся после реакции, отфильтровали и получили раствор, содержащий две соли с одинаковыми анионами и равными массовыми долями. Рассчитайте массовую долю карбоната натрия в исходном растворе. О т в е т: $\omega(Na_2CO_3) = 2,72 \%$.
6. Некоторую массу соли состава $MgCO_3 \cdot xH_2O$ прокалили до прекращения выделения газов. Последние были пропущены через сосуды с концентрированной серной кислотой и известковой водой. Масса первого сосуда увеличилась на 1,8 г, а во

- втором выпало 2,0 г осадка. Определите состав исходного кристаллогидрата и его массу. О т в е т: $m(\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 3,48$ г.
7. При электролизе водного раствора хлорида никеля на аноде выделился хлор объемом 27 л (н. у.), а на катоде — никель массой 63 г. Считая выход хлора количественным, определите выход никеля. О т в е т: $\eta(\text{Ni}) = 89$ %.
8. Смесь алюминия, меди и магния массой 23,0 г подвергли действию соляной кислоты. При этом выделилось 14 л газа, измеренного при температуре 0 °С и давлении $0,81 \cdot 10^5$ Па. Нерастворившийся остаток переведен в раствор концентрированной азотной кислотой. При этом выделилось 8,96 л (н. у.) газа. Определите массовую долю магния в начальной смеси. О т в е т: $\omega(\text{Mg}) = 20,9$ %.
9. Два кубика одинакового размера, один из которых изготовлен из алюминия, а другой — из магния, растворили в соляной кислоте. Объем водорода, выделившегося в первом случае, оказался в 2 раза больше, чем во втором случае. Какова плотность магния, если плотность алюминия 2,7 г/см³? О т в е т: $\rho(\text{Mg}) = 1,8$ г/см³.
10. В раствор хлороводорода с массовой долей 15 % поместили цинковый шарик массой 20 г. После уменьшения диаметра шарика в два раза массовая доля кислоты в полученном растворе стала равной 10 %. Вычислите массу исходного раствора соляной кислоты. О т в е т: $m(\text{раствора}) = 762,7$ г.
11. Простое вещество массой 4 г, образованное элементом А, сожгли в атмосфере кислорода. Полученное вещество растворили в 60 г раствора гидроксида натрия (массовая доля 20 %). Определите элемент А, если известно, что при растворении получилось 96 г раствора, а массовая доля щелочи уменьшилась до 12,5 %. О т в е т: Н₂.
12. Массовая доля одновалентного металла в кристаллогидрате его сульфата составляет 14,3 %. Установите формулу этого кристаллогидрата и обоснуйте решение задачи. О т в е т: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

13. При растворении в воде 2,0 г смеси гидридов двух щелочных металлов выделилось 3,36 л водорода (н. у.). Определите, гидриды каких металлов были в смеси, если известно, что количества образовавшихся щелочей относятся как 5 : 1. О т в е т: LiH и KH.
14. Смесь водорода и неона объемом 4,48 л пропустили над нагретым порошком магнетита. Произошло полное восстановление магнетита, причем водород прореагировал количественно. Масса твердого остатка после реакции на 0,8 г меньше массы исходного магнетита. Какова объемная доля водорода в его смеси с неоном? О т в е т: $\varphi(\text{H}_2) = 25 \%$.
15. Дана смесь двух бинарных соединений — алюминия и кальция с одним и тем же элементом. При растворении навески смеси в соляной кислоте выделилось 3 л газа, имеющего относительную плотность по водороду 11,3. Определите качественный и количественный состав исходной смеси бинарных веществ. О т в е т: $\omega(\text{Al}_4\text{C}_3) = 30 \%$, $\omega(\text{CaC}_2) = 70 \%$.
16. При прокаливании смеси нитратов натрия и серебра ее масса уменьшается в 1,382 раза. При этом выделяется 2,8 л газообразных веществ (н. у.). Вычислите массовые доли солей в исходной смеси. О т в е т: $\omega(\text{AgNO}_3) = 50 \%$.
17. Газообразный углеводород сожгли в избытке кислорода. При этом число молей в системе не изменилось. Найдите формулу углеводорода. О т в е т: CH_4 .
18. Определите молекулярную формулу алкана, если известно, что для сжигания 6 л этого вещества требуется 39 л кислорода. О т в е т: C_4H_{10} .
19. При сгорании некоторой массы неизвестного углеводорода образовалось 7,7 г углекислого газа и 3,6 г воды. Определите молекулярную формулу углеводорода и его массу. О т в е т: $m(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 2,5 \text{ г}$.
20. Смесь метана и этилена со средней молекулярной массой 22 подверглась неполному гидрированию, после чего ее плотность по водороду стала равной 11,25. Какая часть этилена подверглась гидрированию? О т в е т: 50 %.

21. В алкадиене количество C–H связей в 1,5 раза больше, чем C–C связей. Напишите формулу неизвестного вещества. О т в е т: C_7H_{12} .
22. При окислении спирта образовалась смесь спирта, альдегида и кислоты в мольном соотношении 1 : 4 : 5 массой 18,84 г. При действии на смесь гидросульфита калия выделилось 448 мл газа (н. у.). Определите все возможные структуры спирта, подвергшегося окислению. О т в е т: пентанол-1, либо 2-метилбутанол-2, либо 2-метилбутанол-1, либо 3-метилбутанол-1, либо 2,2-диметилпропанол.
23. При сплавлении со щелочью калиевой соли предельной одноосновной карбоновой кислоты образовалось 11,6 г углеводорода *A*, а при электролизе водного раствора такого же количества этой соли образовалось 11,4 г углеводорода *B*. Определите формулы веществ *A* и *B*. О т в е т: C_4H_{10} и C_8H_{18} .
24. Цинковую пластинку массой 25,9 г опустили в 555 г раствора нитрата железа (III) с массовой долей соли 10 %. После некоторого выдерживания пластинки в растворе ее вынули, при этом оказалось, что массовая доля нитрата железа (III) стала равной массовой доле образовавшейся соли цинка. Определите массу пластинки (до десятых г), после того как ее вынули из раствора. О т в е т: 20 г.
25. Оловянную пластинку массой 16,9 г опустили в 435,5 г раствора бромида железа (III) с массовой долей соли 20 %. После некоторого выдерживания пластинки в растворе ее вынули, при этом оказалось, что массовая доля нитрата железа (III) стала равной массовой доле образовавшейся соли олова. Определите массу пластинки (до десятых г), после того как ее вынули из раствора. О т в е т: 5 г.
26. Сульфид металла MeS массой 35,2 г (металл проявляет в своих соединениях степень окисления +2 и +3) поместили в замкнутый реактор, содержащий 0,9 моль кислорода, и подожгли. После окончания процесса давление газов при неизменной температуре уменьшилось в 1,5 раза по сравнению с начальным. Установите формулу твердого оксида. О т в е т: Fe_2O_3 .

27. Порошок массой 12 г, состоящий из смеси алюминия и магния, растворили в соляной кислоте. При этом выделилось 13,888 л (н. у.) водорода. Вычислите массовую долю алюминия в начальной смеси. О т в е т: $\omega(\text{Al}) = 50 \%$.
28. Смесь сульфида железа (II) и пирита массой 20,8 г подвергли обжигу, при этом выделилось 6,72 л газообразного продукта (н. у.). Определите массу твердого остатка, образовавшегося при обжиге. О т в е т: 16 г.
29. При добавлении к 50 г воды смеси натрия и оксида натрия массой 2 г получили 5,4 %-ный раствор гидроксида натрия. Определите массовую долю натрия в смеси. О т в е т: $\omega(\text{Na}) = 25,2 \%$.
30. В 100 г 10 %-ного раствора хлорида меди (II) поместили смесь нитрата серебра и нитрата ртути (II) массой 3 г. При этом образовалось 2,52 г осадка. Вычислите массовую долю хлорида меди (в %, до целых) в полученном растворе. О т в е т: $\omega(\text{CuCl}_2) = 8 \%$.
31. При длительном прокаливании на воздухе смеси меди и нитрата меди масса полученной смеси не изменилась. Определите массовую долю меди в исходной смеси. О т в е т: $\omega(\text{Cu}) = 69,9 \%$.
32. Смесь гидрида и фосфида щелочного металла массой 5,24 г растворили в воде, при этом выделилось 1,12 л (н. у.) смеси газов с относительной плотностью по воздуху 0,731. Определите формулы исходных компонентов. О т в е т: KH и K_3P .
33. Сульфид и сульфит неизвестного металла, обладающего в своих соединениях степенью окисления +1, массой 6,2 г растворили в растворе бромоводородной кислоты, при этом выделилась газовая смесь, в которой массовая доля серы равна 77,11 %. При растворении газов в воде выделилась сера массой 160 мг. Определите неизвестный металл и массовую долю сульфида в начальной смеси. О т в е т: $\omega(\text{Cs}_2\text{S}) = 72,1 \%$.
34. При обработке водой 11,6 г смеси фосфида алюминия и сульфида другого элемента III группы с равными массовыми долями образовался осадок массой 7,8 г и выделилось 5,43 г газовой смеси (н. у.) с плотностью по гелию 8,5. Установите, какой элемент входит в состав сульфида. О т в е т: бор.

35. Какой объем оксида углерода (IV) и метана (н. у.), в котором массовая доля последнего газа равна 15 %, нужно пропустить через 120 г 13 %-ного раствора гидроксида натрия, чтобы массовые доли кислой соли и средней соли были равны? О т в е т: $V = 9$ л.
36. При нитровании 2,34 г бензола смесью азотной и серной кислот получилось 3,96 г продукта. Определите качественный и количественный состав этого продукта. О т в е т: $\omega(\text{нитробензол}) = 74,54 \%$, $\omega(\text{мета-динитробензол}) = 25,46 \%$.
37. Смесью изомерных спиртов массой 43,2 г нагрели с избытком уксусной кислоты в присутствии следов серной кислоты. В результате реакции получено 52,02 г смеси сложных эфиров. Установите строение спиртов, если известно, что выход одного из эфиров составил 75 %, второго — 50 %, а масса первого спирта больше массы другого в пять раз. О т в е т: пропанол-1 и пропанол-2.
38. При прокаливании 8,24 г смеси нитрата натрия и нитрата трехвалентного элемента (в ряду напряжений стоит между магнием и медью) образовалось 2,128 л (н. у.) смеси газов. При пропускании газовой смеси через раствор гидроксида натрия объем газов уменьшился до 784 мл. Определите массовую долю нитрата неизвестного металла в начальной смеси и назовите этот нитрат. О т в е т: $\omega(\text{Fe(NO}_3)_3) = 58,74 \%$.
39. При прокаливании смеси $\text{Fe(NO}_3)_3$ с $\text{Me(NO}_3)_2$ (в ряду напряжений металл стоит между магнием и медью) массой 35 г образовалось 11,424 л (н. у.) смеси газов. При пропускании газов через раствор гидроксида натрия объем газов уменьшился до 784 мл. Определите массовую долю нитрата неизвестного металла в начальной смеси и назовите этот нитрат. О т в е т: $\text{Fe(NO}_3)_2$.
40. После прокалывания смеси нитрата серебра, нитрата натрия и нитрата аммония образовалась газовая смесь (н. у.) с плотностью по водороду 20,22, а масса твердого остатка оказалась в 2,03 раза меньше массы исходной смеси солей.

Определите массовые доли веществ в исходной смеси. О т в е т:
 $\omega(\text{AgNO}_3) = \omega(\text{NaNO}_3) = 34 \%$, $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 32 \%$.

41. Имеется смесь метана, этана и пропана массой 20 г. Массовая доля водорода в смеси метана и этана равна 24 %, а в смеси метана и пропана — 21 %. Найдите массовую долю метана в смеси. О т в е т: $\omega(\text{CH}_4) = 37,5 \%$.
42. На сжигание смеси метана, ацетилена и пропена с плотностью по водороду 12 требуется 1,8 л (н. у.) кислорода, а на полное гидрирование такого же количества исходной смеси — равный ей объем водорода. Определите объемный состав смеси после гидрирования. О т в е т: $V(\text{CH}_4) = 0,3$ л, $V(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,3$ л и $V(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,1$ л.
43. Из оксида двухвалентного металла массой 29,16 г получили бромид этого же металла. Определите неизвестный бромид, если его масса численно равна молярной массе исходного оксида. О т в е т: ZnBr_2 .
44. Плотность смеси двух газообразных водородных соединений различных элементов формулы $\text{Э}^1\text{H}_2$ и $\text{Э}^2\text{H}_3$, в которой массовая доля соединения $\text{Э}^1\text{H}_2$ составляет 56,67 %, при н. у. равна 2,009 г/л. Определите, какие это соединения, если известно, что в смеси равных объемов этих веществ массовая доля водорода как элемента равна 4,464 %. О т в е т: AsH_3 и H_2S .
45. К смеси, содержащей водород и аммиак, добавили 22,4 л водорода, при этом средняя молярная масса полученной смеси оказалась в два раза меньше, чем начальной. Определите объем начальной смеси, если массовая доля H_2 в конечной смеси составляет 43,33 %. О т в е т: 1,12 л.
46. Газовая смесь, полученная после прокаливания смеси нитрата аммония, нитрата натрия и нитрата серебра до постоянной массы, после охлаждения до 0 °С имела плотность по водороду 19,9, а масса твердого остатка оказалась в 2,03 раза меньше массы исходной смеси солей. Определить массовые доли веществ в исходной смеси солей. О т в е т: $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 35,2 \%$, $\omega(\text{NaNO}_3) = 49,5 \%$ и $\omega(\text{AgNO}_3) = 18,9 \%$.

47. При термическом разложении гидроксидов меди (II) и железа (III) получили смесь оксидов массой 10 г, причем масса оксида меди в смеси не больше массы оксида железа, а масса железа в этой же смеси меньше массы меди. Найти максимальную массовую долю гидроксида меди в исходной смеси.
О т в е т: $\omega(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 47,83 \%$.
48. В смеси кислорода, озона и паров воды массовая доля водорода составляет 5 %. Вычислите область допустимых значений объемной доли озона в смеси. О т в е т: $0 < \varphi(\text{O}_3), \% < 27,78$.
49. При прокаливании 100 г смеси, содержащей сульфиты магния, кальция, стронция и бария, образовалось 40 г смеси оксидов. Определите массу оксида магния в остатке (ответ записать до сотых). О т в е т: $31,25 < m(\text{MgO}), \text{г} < 36,47$.
50. При взаимодействии 6 г металла с водой выделилось 3,36 л (н. у.) водорода. Определите этот металл, если он в своих соединениях двухвалентен. О т в е т: Са.
51. Незвестный металл массой 13 г полностью растворили в избытке очень разбавленного раствора азотной кислоты без выделения газа. При обработке полученного раствора избытком щелочи выделилось 1,12 л газа (н. у.) Установите, какой металл был растворен в растворе азотной кислоты.
О т в е т: Zn.
52. Смесь гидрида и нитрида металла с равными массовыми долями растворили в строго необходимом количестве соляной кислоты. При этом выделилась газовая смесь с относительной плотностью по гелию 1,365. Определите металл, входящий в состав гидрида и нитрида. О т в е т: Са.
53. Массовая доля водорода в неизвестном углеводороде равна 5,88 %. Этот углеводород, обладающий слабыми кислотными свойствами, способен образовывать с металлом соль, массовая доля металла в которой составляет 65,98 %. Напишите структурную формулу соли. О т в е т: $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{C}\equiv\text{CCu})_3$.
54. Элементы А и Б образуют соединение, содержащее 64 % (по массе) элемента Б. При гидролизе этого вещества выделяется газ, содержащий элемент Б, массовая доля водорода в котором равна 5,88 %. Определите формулу вещества, содержащего

элементы А и Б, напишите реакцию его гидролиза. О т в е т:
 $\text{Al}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{S}$.

55. Шарик железа поместили в 50 г 10 %-ного раствора бромоводорода. После взаимодействия оказалось, что радиус шарика уменьшился на треть относительно начального радиуса, а в растворе был обнаружен только бромид железа (II). Определите массу шарика после опыта. О т в е т: 0,728 г.
56. Смесь калия и цезия обработали бромом. Полученную смесь растворили в воде, при этом выделилось 1,2 л газа (н. у.). Вычислить массу калия в смеси, если сумма молярных концентраций калия и бромид-ионов равнялись сумме молярных концентраций цезия и гидроксид-ионов. О т в е т: $m(\text{K}) = 3,9$ г.
57. В 15 %-ный раствор нитрата серебра внесли стружки меди, после чего массовая доля серебра снизилась до 10 %. Затем внесли порошок алюминия, при этом массовая доля нитрата серебра в конечном растворе снизилась до 5 %. Вычислите массовые доли солей в полученном растворе. О т в е т: 3,12 % нитрата меди, 5,62 % нитрата алюминия, 5 % нитрата серебра.
58. При растворении серебра в 60 %-ной азотной кислоте массовая доля кислоты в растворе снизилась до 55 %. К полученному раствору добавили равный по массе 2 %-ный раствор хлорида натрия. Раствор профильтровали. Определите массовую долю азотной кислоты в фильтрате. О т в е т: $\omega(\text{HNO}_3) = 28,1$ %.
59. Известно, что смесь состоит из предельного углеводорода, у которого количество атомов углерода равно n , и его гомолога, в котором количество атомов углерода равно $(2n + 1)$. Такую смесь массой 19,2 г сожгли, получив 29,12 л (н. у.) оксида углерода. Определите качественный состав смеси и массовые доли компонентов. О т в е т: 8,33 % метана и 91,66 % пропана или 62,5 % этана и 37,5 % пентана.
60. Неизвестный металл массой 10 г превратили в иодид металла, масса которого численно больше молярной массы металла на 32,48 г. Установите формулу неизвестного иодида. О т в е т: CaI_2 либо CrI_3 .

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Будруджак Р.* Задачи по химии / Р. Будруджак. М. : Мир, 1989. 343 с.
- Еремин В. В.* Теоретическая и математическая химия для школьников. Подготовка к химическим олимпиадам / В. В. Еремин. М. : МЦНМО, 2007. 352 с.
- Ерыгин Д. П.* Методика решения задач по химии / Д. П. Ерыгин, Е. А. Шишкин. М. : Просвещение, 1989. 176 с.
- Козко А. И.* Математические методы решения химических задач / А. И. Козко, Е. С. Соболева, А. В. Субботин и др. М. : Изд. центр «Академия», 2013. 368 с.
- Кузьменко Н. Е.* Вступительные экзамены и олимпиады по химии в Московском университете / Н. Е. Кузьменко, В. И. Теренин. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2008. 106 с.
- Кузьменко Н. Е.* Вступительные экзамены и олимпиады по химии: опыт Московского университета / Н. Е. Кузьменко, О. Н. Рыжкова, В. И. Теренин и др. ; под ред. Н. Е. Кузьменко, О. Н. Рыжковой и В. И. Теренина. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2011. 624 с.
- Кузьменко Н. Е.* Химия. 2400 задач для школьников и поступающих в вузы / Н. Е. Кузьменко, В. В. Еремин. М. : Дрофа, 1999. 560 с.
- Лабий Ю. М.* Решение задач по химии с помощью уравнений и неравенств : книга для учителя / Ю. М. Лабий. М. : Просвещение, 1987. 80 с.
- Николаенко В. К.* Решение задач повышенной сложности по общей и неорганической химии / В. К. Николаенко. Киев : Радянська школа, 1989. 160 с.
- Свитанько И. В.* Нестандартные задачи по химии / И. В. Свитанько. М. : МИРОС, 1993. 83 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ЗАДАЧИ	5
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ.....	14
Задачи на составление линейных уравнений	14
Задачи на составление системы двух уравнений	23
Задачи на составление системы трех уравнений.....	37
Задачи на составление квадратных уравнений.....	41
Задачи на составление неравенств.....	47
Задачи, решаемые методом подбора параметра	54
Параметрические задачи.....	66
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	116
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	125

Учебное издание

Медведев Дмитрий Андреевич
Войтукевич Светлана Анатольевна

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНДИВИДУАЛЬНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ

Пособие для учителя

Редактор *Н. В. Чапаева*
Корректор *Н. В. Чапаева*
Компьютерная верстка *Н. Ю. Михайлов*
Ответственный за выпуск *Д. Д. Шакирзянова*

Подписано в печать 20.03.2015.
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Уч.-изд. л. 5,6. Усл. печ. л. 7,4. Тираж 300 экз. Заказ № 173.

Издательство Уральского университета
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ.
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13.

Факс: +7 (343) 358-93-06.

E-mail: press-urfu@mail.ru

